

Sporulatie en beheersing echte meeldauw in aardbei

Bouwstenen voor beslissing ondersteunend systeem (BOS) voor de beheersing van meeldauw in aardbei.

A. Evenhuis, C.G. Topper en J.A.M. Wilms

© 2014 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, AGV

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Projectnummer: 3250 1997 00 i.s.m. 3250 1562 00 (EU Berry) 3250 1806 00 (GoLF)

Uw sector investeert in dit project via het Productschap  Tuinbouw

In samenwerking met EU Berry (7th Framework) en Good Lasting Fruit (Agentschap NL)



**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit AGV**

Address : Postbus 16, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : +31 320 291 355
Fax : +31 317 41 80 94
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING	5
1.1	Probleemstelling.....	5
1.2	Doel.....	6
2	BIOLOGIE VAN ECHTE MEELDAUW	7
2.1	Inleiding	7
2.1.1	Epidemiologie.....	8
2.2	Waardplanten	9
2.3	Infectiecyclus	9
2.3.1	Kieming	9
2.3.2	Infectie.....	10
2.3.3	Haustoriumvorming	10
2.3.4	Lesiegroei	10
2.3.5	Sporulatie	11
2.3.6	Overleving van sporen.....	12
2.3.7	Latente periode	12
2.3.8	Cleistothecia	12
2.3.9	Afweermechanismen	12
2.3.10	Schade	13
2.4	Preventie.....	13
2.5	Bestrijding.....	14
2.5.1	Chemisch.....	14
2.5.2	Biologische bestrijding en GNO's.....	14
2.6	Waarschuwingssystemen	14
2.6.1	Modellen in Rosaceae	15
2.6.2	Modellen in aardbei.....	16
2.6.3	Conclusies	18
3	SPORULATIE	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Sporentelling	19
3.3	Sporulatie en meeldauw waarnemingen Etten Leur 2011	21
3.4	Meeldauw waarnemingen Vredepeel 2011	23
3.5	Sporulatie en meeldauw waarnemingen Vredepeel 2012.....	24
3.6	Sporulatie en meeldauw waarnemingen Vredepeel 2013.....	28
3.7	Mate van sporulatie gedurende de dag	31
4	KLIMAATGEGEVENS STELLINGEN EN VOLLEGROND	33
4.1	Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid	33
4.2	Vochtdeficit.....	37
4.3	Klimaatparameters en meeldauw	39
4.4	Sporulatie in relatie tot weer parameters	40
4.5	Eerste sporulatie en infectiekans in het seizoen.....	42
5	CONCLUSIES	43
6	SAMENVATTING.....	45
7	LITERATUUR.....	46

1 Inleiding

Echte meeldauw vormt een probleem in de teelt van aardbeien en wordt meestal bestreden door inzet van fungiciden. Het is gewenst om de inzet van gewasbeschermingsmiddelen te beperken, om aan de bovenwettelijke eisen van de markt ten aanzien van residuen te kunnen blijven voldoen. Beperking van het aantal fungiciden en goed getimed effectieve toepassingen van de middelen zal bijdragen aan de mogelijkheid tot blijvende beleving van de supermarkten.

Introductie van nieuwe technieken zal een verdere terugdringing van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen mogelijk maken. Hierbij val te denken aan het aanpassen van het teeltsysteem. Gebruik maken van methoden die de plantweerbaarheid verhogen kan bijdragen aan reductie van inzet van gewasbeschermingsmiddelen tijdens het seizoen.

In het kader van EU Berry wordt gewerkt aan het aanpassen van teeltsystemen en de toetsing van waarschuwingssystemen om te komen tot een rendabele teelt, met een minimum aan residuen en een beperking van de inzet van gewasbeschermingsmiddelen.

In het Good Lasting Fruit project wordt onderzoek verricht naar combinaties van stoffen die op een verschillende manier op fruit (appel, aardbei) inwerken. Verder worden fysische en chemische eigenschappen van de beoogde stoffen zodanig veranderd dat deze optimaal zijn voor fruit. Dit leidt tot innovatieve concepten waarmee schimmels op fruit efficiënt bestreden kunnen worden, terwijl de duurzaamheid optimaal is: geen schadelijke milieueffecten, geen gezondheidsschadelijke effecten, geen residuen in de voeding.

1.1 Probleemstelling

Echte meeldauw is met name bij de teelt op stellingen en in kassen een probleem. De ziekte duikt ook op in de vollegrondsteelt maar is toch vaak minder ernstig van aard. Om meeldauw te voorkomen wordt net als tegen vruchtrot regelmatig een bespuiting uitgevoerd met een daarvoor geschikt fungicide. Voor residuen op etenswaren zijn er wettelijke eisen (Maximum Residue Limits's). Tegenwoordig worden door supermarkten aanvullende eisen gesteld met betrekking tot residuen. De eisen betreffen zowel het aantal verschillende residuen dat op een product mag zitten en de hoeveelheid residu, meestal een veelvoud lager dan de wettelijke MRL. Deze wens van de markt heeft tot gevolg dat de bestrijdingsstrategie aangepast moet worden. Enerzijds kan dit door met minder verschillende middelen te spuiten. Anderzijds door de frequentie van bespuitingen omlaag te brengen. Dit kan alleen als de kritische momenten voor het optreden van meeldauw bekend zijn en goed voorspelt kunnen worden. Inoculumbronnen zijn op zich bekend, maar onduidelijk is wanneer deze een bedreiging gaan vormen voor de aardbeiteelt. Dit hangt samen met het vrijkomen van de echte meeldauw sporen, en de mogelijkheid tot infectie van het gewas. De kans op daadwerkelijke infectie wordt bepaald door de weersomstandigheden enerzijds en de vitaliteit van het gewas anderzijds. Hoewel er veel wetenschappelijke en praktische kennis is van echte meeldauw is er nog geen sluitende beheersingsstrategie ontwikkeld.

1.2 Doel

Het project is er op gericht om een de biologie van echte meeldauw in aardbei verder te ontrafelen. Deze kennis kan gebruikt worden om de bestrijdingsstrategie voor echte meeldauw in aardbei te ontwikkelen, gebaseerd op de biologie van de schimmel, de weersomstandigheden en de vitaliteit van het gewas. Veel gegevens over kieming, infectie en kolonisatie van aardbeiblad zijn beschreven in de literatuur. Hoofdstuk 2 beschrijft in globale termen de biologie en epidemiologie van echte meeldauw, specifiek voor aardbeien. Over sporulatie van echte meeldauw in aardbei is veel minder bekend. Uit onderzoek zal duidelijk moeten worden of sporulatie van echte meeldauw in aardbei een beperkende factor is voor de ontwikkeling van een epidemie.

De verkregen gegevens kunnen gebruikt worden voor de validatie van een BOS (Beslissing Ondersteunende Systemen) meeldauw in aardbei.

Het project is uitgevoerd in opdracht van het Productschap tuinbouw in samenwerking met Agrovision BV, EU-Berry in het kader van 7th frame work, en Good Lasting Fruit (GoLF) gefinancierd via Agentschap NL.

Het EU Berry project is er op gericht om aardbeien te telen met een minimum aan residu. Resultaten uit dit onderzoek zijn gebruikt om de BOS aan te passen en werden gebruikt bij het EU Berry project. Parallel hieraan werd in het GoLF project een methode ontwikkeld om de vruchtkwaliteit van aardbei te bevorderen, waardoor de inzet van fungiciden tijdens de teelt kan worden beperkt ten gunste van niet chemische gewasbescherming.

2 Biologie van echte meeldauw

2.1 Inleiding

De informatie in deze paragraaf is grotendeels ontleend aan door het door R.R. Bélanger, W.R. Bushnell, A.J. Dik, en T.L.W. Carver geredigeerde en in 2002 verschenen boek 'The powdery mildews: a comprehensive treatise', waarin vooraanstaande specialisten op het gebied van het onderzoek aan echte meeldauwschimmels de huidige kennis over de biologie en beheersing van deze parasitaire schimmels samenvatten.

Echte meeldauwschimmels worden beschouwd als een aparte taxonomische eenheid binnen het schimmeldrijk. Ze vormen de familie *Erysiphaceae* (Braun et al., 2002) binnen de klasse van de Ascomyceten (zakjeszwammen). Op dit moment worden meer dan 500 soorten onderscheiden, die elk slechts één plantensoort of een beperkt aantal nauw verwante plantensoorten kan aantasten. Enkele voorbeelden van planten die door meeldauwschimmels aangetast worden zijn appel, kers, meidoorn, rozen, Hydrangea-soorten, aardbei, kruisbes en diverse Ribessoorten, suikerbiet, diverse granen, peen, peterselie en selderij, spruitkool, kruiskruid, andijvie, sla, erwt, tomaat, komkommer, druif, hop, eik en esdoorn. *Podosphaera aphanis* (voorheen *Sphaerotheca macularis*) is de veroorzaker van echte meeldauw in aardbeien. Ook voor deze soort geldt dat het slechts een beperkte waardplantreeks heeft (Peries, 1962a). Echte meeldauw op aardbeien komt wereldwijd voor, waar aardbeien worden geteeld (Maas, 1998). Figuur 1 laat de levenscyclus zien van *Sphaerotheca pannosa*. De meeste meeldauwschimmels zijn relatief milde parasieten die de geïnfecteerde plant slechts langzaam verzwakken. In bossen, parken en tuinen is in veel gevallen de schade, door de oppervlakkige groei van echte meeldauwschimmels, vooral esthetisch van aard. Een aantal soorten is, doordat infectie gepaard gaat met vroegtijdige bladval of misvormde bladeren en stengels, schadelijker voor de plant. Bij cultuurgewassen hebben deze meeldauwschimmels door een verminderde fotosynthese een effect op de opbrengst en in geval van aardbei ook op vruchtkwaliteit als deze aangetast wordt.

Echte meeldauwschimmels zijn obligate parasieten van (bloem)planten en tasten groene plantdelen aan. Niet alleen bladeren, maar ook stengels en vruchten (bijvoorbeeld aardbei) kunnen aangetast worden. Op de aangetaste plantdelen ontstaan eerst witte poederachtige vlekken, die zich kunnen uitbreiden om in een later stadium het gehele oppervlak te bedekken. Het poeder bestaat uit conidia (ongeslachtelijke sporen) van de schimmel.

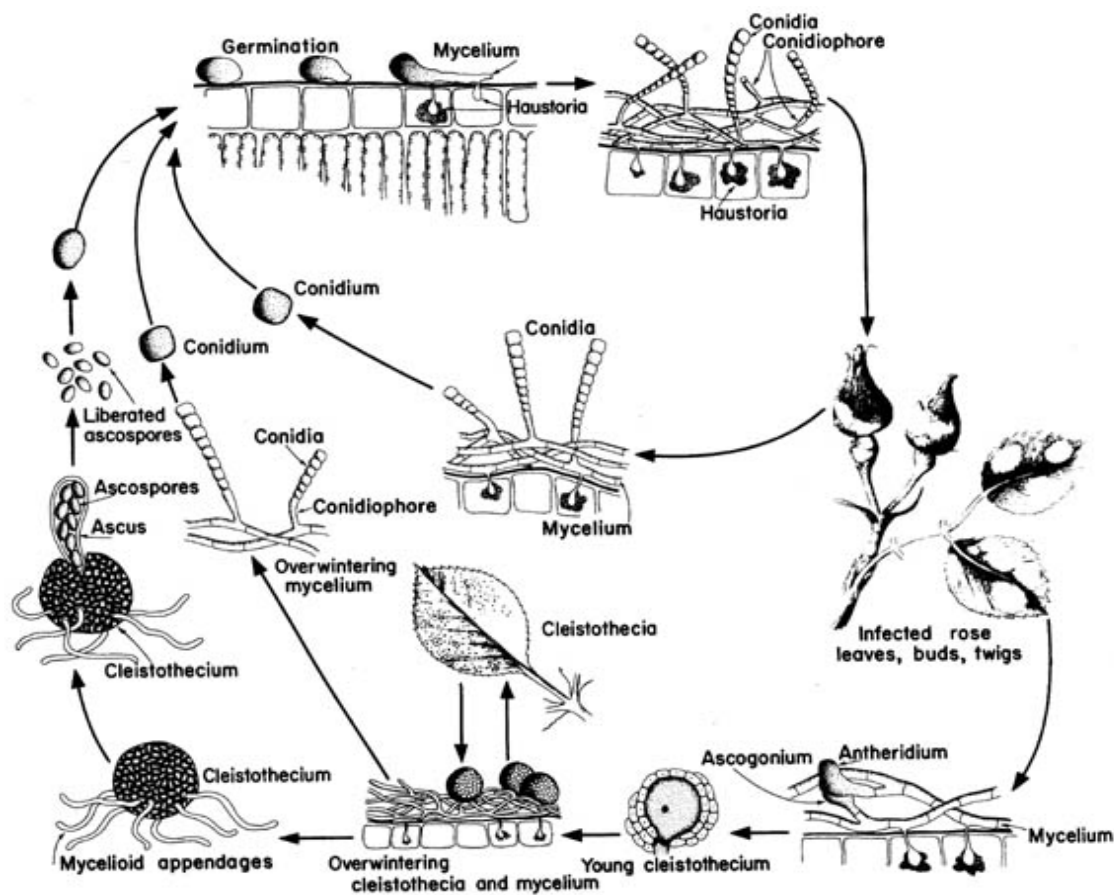
De meeste echte meeldauwschimmels groeien oppervlakkig op hun waardplant, waarbij de schimmel zich met appressoria hecht aan het plantoppervlak en via deze structuren met schimmeldraden naar binnendringt. De binnengedrongen schimmeldraden onttrekken met speciale vertakkingen (haustoria) voedsel aan de plantencellen. Niet alle echte meeldauwschimmels blijven oppervlakkig. Een aantal soorten dringt via huidmondjes dieper de plant binnen.

Echte meeldauwschimmels verspreiden zich via twee typen sporen: conidia (ongeslachtelijke sporen) en ascosporen (geslachtelijke sporen). Conidia worden tijdens het groeiseizoen van de plant, meestal aan het oppervlak van geïnfecteerde bladeren, gevormd op conidiophoren (speciale schimmeldraden, sporendragers, die de conidia aan hun uiteinden afsnoeren). Conidia zijn dunwandig, kleurloos en laten gemakkelijk los van de sporendrager. Ze zijn niet bedoeld om lange tijd ongunstige omstandigheden te overleven, maar om op luchtstromingen mee te liften naar geschikte waardplanten. De conidia van echte meeldauwsoorten blijven korte tijd vitaal (Bushnell, 2002).

Ascosporen worden in cleistothecia (dikwandige vruchtlichamen) gevormd. Cleistothecia worden vaak tegen het eind van het groeiseizoen gevormd. De vruchtlichamen zijn dan als bruine tot zwarte puntjes te zien tussen de oppervlakkige schimmeldraden. Door hun dikwandigheid kunnen de vruchtlichamen beschouwd worden als ruststructuren. Toch zijn cleistothecia van over het algemeen van weinig belang voor de overwintering van echte meeldauwschimmels in de meeste gewassen. Echte meeldauwsoorten overwinteren vooral als schimmeldraden in slapende bladknoppen en groenblijvende plantendelen van de waardplant zelf of van alternatieve waardplanten. Het belang van de cleistothecia voor echte

meeldauwschimmels ligt vooral in de mogelijkheid die de vorming de geslachtelijke ascosporen geeft tot genetische uitwisseling.

Meestal wordt de rol van cleistothecia bij de start van de epidemie als beperkt gezien (Gilles, 1961 in Berry 1998). Echter in meerjarige aardbeiteelten wordt de aanwezigheid van cleistothecia wel in verband gebracht met een vroege start van de meeldauw epidemie (Berrie et al., 1998; Berrie 2000). Recent onderzoek in Noorwegen en de noord-oost VS geven aan dat het belang van cleistothecia en daaruit gevormde ascosporen wel van belang zijn voor de epidemie (Gadoury et al., 2010).



Figuur 1. Levenscyclus van *Sphaerotheca pannosa* (naar Spencer, 1978).

2.1.1 Epidemiologie

Het optreden van echte meeldauwinfecties en de ontwikkeling van de ziekte in het gewas hangt af van de gevoeligheid van de planten en de omstandigheden waaronder zij groeien. De botanische epidemiologie beschrijft de ontwikkeling van plantenziekten in de ruimte en de tijd en probeert ook het ontstaan en het verloop van epidemieën te voorspellen om het nemen van gewasbeschermingskundige beslissingen te ondersteunen. Voor laatst genoemd onderdeel van de epidemiologie is een grondige kennis vereist van de levenscyclus van echte meeldauwschimmels, het infectieproces en de invloed van allerlei biotische en abiotische factoren op het verloop van de biologische processen die een rol spelen in de infectiecyclus. Een recent overzicht over de epidemiologische kennis m.b.t. echte meeldauwschimmels, die van belang zijn voor de agrarische sector, is geschreven door Jarvis et al. (2002).

In de levenscyclus van echte meeldauwschimmels zijn de volgende gebeurtenissen en biologische processen van belang:

Luchtverspreiding en landing van sporen (conidia, ascosporen), herkenning van de waardplant, sporenkieming, infectie en kolonisatie van het plantweefsel. Na de vorming van een netwerk van

schimmeldraden kan de schimmelkolonie al dan niet eerst een ongunstige periode overleven voordat een volgende generatie conidia worden gevormd voor verdere verspreiding. Ook kan de schimmelkolonie cleistotheciën vormen om de ongunstige periode te overleven om daarna ascosporen te vormen voor verdere verspreiding.

Het verloop van de levenscyclus van echte meeldauwschimmels hangt voor een belangrijk deel af van de waardplant waarop deze is gespecialiseerd. De echte meeldauwschimmels van bladverliezende bomen en struiken overwinteren als schimmeldraden in slapende knoppen en/of als cleistothecia in scheuren in de schors of op bladresten. De eerste infecties van het nieuwe groeiseizoen komen voort uit knoppen waarin de schimmel heeft overwinterd of van ascosporen uit cleistothecia. De echte meeldauwschimmels van groenblijvende overblijvende kruidachtige planten overwinteren op de groene plantdelen en kunnen zowel oude en jonge bladeren van hun waardplant infecteren. Bij eenjarige planten overwinteren de echte meeldauwschimmels als cleistothecia op de afgestorven plantenresten van hun waardplant, of op winterharde nevenwaardplanten. Wanneer de omstandigheden voor overwintering ongunstig zijn, komen de eerste infecties van echte meeldauwschimmels op eenjarige planten voort uit conidia die via de wind worden aangevoerd uit gebieden met milde winters.

Of individuele infecties met een soortspecifieke echte meeldauwschimmel zich ontwikkelen tot een epidemie hangt o.a. af van het microklimaat (klimaat in en net boven de vegetatie of het gewas), de microflora en de gevoeligheid van de planten. Het microklimaat wordt weer beïnvloed door meteorologische grootheden (zoals lichtsterkte, temperatuur, neerslag, relatieve luchtvochtigheid en windsterkte) en de planten zelf (plantdichtheid, ontwikkelingsfase). Perioden met gematigde temperaturen, getemperd licht, hoge luchtvochtigheid en weinig neerslag gaan vaak gepaard met epidemieën van echte meeldauwschimmels. Perioden met veel regenval, maar ook perioden met heet, droog en zonnig weer zijn niet bevorderlijk voor echte meeldauw. Onder de microflora op het plantoppervlak kunnen soorten aanwezig zijn die de ontwikkeling van echte meeldauwschimmels hinderen door de meeldauwschimmel te parasiteren (hyperparasitisme), door toxische stoffen uit te scheiden (antibiosis) of door afweermechanismen van de plant op te wekken (geïnduceerde resistentie).

2.2 Waardplanten

Kruisinoculatie van aardbeimeeldauw op andere planten soorten lukte meestal niet. Naast *Fragaria * ananassa* (de cultuur aardbei) werd ook *Potentilla fragariastrum* = *P. sterilis* (aardbeiganzert) geïnfecteerd door *Sphaerotheca macularis* (Peries, 1962a). Pogingen om aardbeien te inoculeren met morfologisch vergelijkbare meeldauw van andere plantensoorten leidden niet tot infectie. Peries (1962a) geeft aan dat aardbeimeeldauw gespecialiseerd op een gering aantal plantensoorten en stelt dat het hier gaat om een *forma specialis* van *S. macularis*.

Kruisinoculaties van meeldauw op verschillende rassen en afkomstig van verschillende rassen leiden niet tot verschillen in kiempercentage van de meeldauw sporen. Neemt niet weg dat er wel verschil in vatbaarheid bestaat tussen aardbeirassen.

2.3 Infectiecyclus

2.3.1 Kieming

Een echte meeldauwkolonie op een blad of stengel ontstaat vanuit een enkele spore, meestal een conidium. Conidia hebben voor de kieming geen vrij water nodig, water op de bladeren remt zelfs de kieming (Jarvis et al., 2002).

Na landing van een conidium op een geschikte waardplant kan een nieuwe infectie ontstaan. Het infectieproces wordt o.a. beïnvloed door de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Deze twee meteorologische grootheden zijn namelijk van invloed op de afzetting van dauw op het plantoppervlak en de duur van de bladnatperiode. Conidia van echte meeldauwschimmels kiemen wel in water, maar de verdere ontwikkeling van de kiembuizen wordt geremd door de aanwezigheid van dauw op het plantoppervlak.

Verder wordt het infectieproces beïnvloed door anatomische en fysiologische eigenschappen van de plant waarop het conidium is geland. Zo zijn jonge en groeiende planten of plantendelen (bladeren) over het algemeen vatbaarder voor echte meeldauw dan oude of langzaam groeiende plantendelen. Kieming van conidia op jong aardbeiblad varieerde, afhankelijk van het aardbeiras, tussen de 24 en 32%, waarbij het kiemingspercentage op oud blad rond 10% lag, onafhankelijk van het ras (Amsalem et al., 2006). Kieming van echte meeldauwsporen wordt beïnvloed door temperatuur en luchtvochtigheid. De mate van kieming bleek onder laboratorium condities afhankelijk van de temperatuur en de incubatietijd. De optimumtemperatuur voor kieming bleek afhankelijk van de incubatietijd. Na 6 uur was het optimum 27°C na 48 uur bleek het optimum voor kieming 20°C. Een langere incubatietijd leidde niet tot een hoger kiempercentage (Miller et al., 2003). Peries (1962a) vond de hoogste mate van kieming na 24 uur bij temperatuur tussen 18 en 22.5 °C. Kiempercentages liepen op tot bijna 90%. De proeven werden uitgevoerd op blad in Petri schalen. Beneden de 15°C en boven de 30°C liep het kiempercentage sterk terug. Bij temperaturen van 18°C of meer was het maximum kiempercentage vrijwel bereikt binnen 12 uur. Bij lagere temperaturen duurde het langer voor dat het maximum kiempercentage was bereikt (Peries, 1962a). Bij een RV van 86% was het kiempercentage gehalveerd ten opzichte van de kieming bij een RV van 97% (Peries, 1962a).

In de proeven van Miller et al. (2003) was voor sporenkieming onder laboratorium condities een RV van 100 % nodig. De optimumtemperatuur voor kieming ligt tussen de 20 en 25 °C volgens Amsalem et al. (2006). De hoogste kiempercentages werden verkregen bij 97 en 100% RV. Bij 95% RV kiemde minder dan de helft van het aantal sporen dat bij 100% RV kiemde (Amsalem et al., 2006).

De kieming gebeurt meestal 's nachts bij hoge relatieve luchtvochtigheid (Kunoh, 2002). Licht heeft echter geen effect op de kiemkracht (Peries, 1962a). De combinatie van temperatuur, en mogelijk vrij water zijn dan bepalend voor de mate van sporenkieming.

Uit onderzoek in aardbeien op stellingen is gebleken dat korte condensatiemomenten van belang zijn om een infectie tot stand te brengen. Duurt de bladnat periode langer dan 3 uur dan sterven de sporen af. Duurt de bladnatperiode nog langer dan sterft ook het mycelium af. Bij aardbeien op stellingen zijn de meeste condensatiemomenten vroeg in de ochtend en in de avond. In overkapte aardbeiteelten kiemen de meeste sporen in de eerste uren na zonopgang (Claessens, 2004).

Vrij water heeft een negatief effect op de sporenkieming. Sporen die 3 uur blootgesteld werden aan vrij water verloren de helft van hun kiemkracht (Peries, 1962a).

2.3.2 Infectie

Peries (1962a) vond dat infectie niet optrad bij temperaturen lager dan 5°C.

2.3.3 Haustoriumvorming

Vijf tot twaalf uur na de kieming wordt aan het eind van de kiembuis een appressorium gevormd, waarna de schimmel de epidermis (plantoppervlak) van de plant binnendringt (Kunoh, 2002). Peries (1962b) vond dat conidia van aardbei meeldauw 4 tot 6 uur na inoculatie kiemden en dat appressoria binnen 12 uur werden gevormd. Wanneer de spore op een geschikte waardplant terecht is gekomen, wordt in één van de epidermiscellen een haustorium gevormd en vertakt de kiembuis zich om uit te groeien tot een netwerk van schimmeldraden op het plantoppervlak. In experimenten van Peries (1962b) bleken de haustoria na 36 uur volledig ontwikkeld.

2.3.4 Lesiegroei

De radiale groei van echte meeldauw was traag bij 15°C. Tussen 18 en 30°C was er geen verschil in mate van groei en ontwikkeling van echte meeldauw (Peries, 1962a). Echter de mate van infectie van het blad was wel lager bij temperaturen boven 25°C dan bij 18-22.5°C, vanwege een geringe kiemkracht van de sporen bij hogere temperaturen, waardoor minder infecties van het blad optraden (Peries, 1962a). Relatieve luchtvochtigheid en dampdrukdeficiet hadden weinig effect op de groei van de meeldauwlesies. De lesiegroei kan beschreven worden met een Weibull curve waarbij temperatuur als onafhankelijke variabele wordt ingevoerd. De optimumtemperatuur voor lesiegroei ligt in de range van 23 tot 25 °C. Bij 5

en 30°C was er nog nauwelijks sprake van lesiegroei, ongeacht de relatieve luchtvochtigheid (Miller et al., 2003). Jhooty & McKeen (1965) geven een range voor optimale meeldauw ontwikkeling aan tussen 15 en 25°C, met een maximum bij 20°C.

Bij 10 en 30 °C was er nauwelijks ziekteontwikkeling van echte meeldauw op het aardbeiblad (Jhooty & McKeen, 1965; Amsalem et al., 2006). Deze temperaturen lijken de grenswaarden te zijn voor meeldauwontwikkeling. Bij 20 °C en een RV van 75-80% was na 15 dagen ongeveer 40% van het blad door meeldauw gekoloniseerd (Amsalem et al., 2006). De uitbreiding van de meeldauwlesies wordt onder andere bepaald door temperatuur. Echter in experimenten bij een temperatuur van 20°C bleek dat de lesieontwikkeling sneller ging bij een RV van 85-90%, dan bij een RV van 75-80%. De langzaamste lesieontwikkeling werd gevonden bij een RV > 95% (Amsalem et al., 2006). Jhooty & McKeen (1965) vonden dat de ziekteontwikkeling sneller ging naarmate de relatieve luchtvochtigheid toenam, ook bij een relatieve luchtvochtigheid van 100%. De auteurs geven daarbij aan dat vrij water een negatief effect heeft op meeldauw.

In tegenstelling tot Miller et al (2003), vonden Jhooty & McKeen (1965) en Amsalem et al (2006) een effect van vocht op de ziekteontwikkeling.

De ziekteontwikkeling was significant lager bij een lichtintensiteit van 7000 lux dan bij 3800 en 1200 lux, bij een temperatuur van 20°C en een RV van 75-80% (Amsalem et al., 2006)

2.3.5 Sporulatie

Tussen de schimmeldraden worden sporendragers gevormd die conidia produceren. Voor aardbeimeeldauw bleken meer conidiën gevormd te worden bij een RH van 70- 85% dan bij een RH > 95% (Amsalem et al., 2006).

Voor de instandhouding en uitbreiding van epidemieën van echte meeldauwschimmels zijn conidia belangrijk. Conidia worden gevormd op bladeren met actieve fotosynthese. Wanneer de bladeren verouderen stopt de vorming van nieuwe conidia. Bij de meeste echte meeldauwschimmels hebben de verschillende fasen in de ontwikkeling van conidia een circadiane ritme. De conidia rijpen af in de lichtperiode, met pieken in de vroege ochtend en in de loop van de middag. Pieken in de aantallen conidia in de lucht treden op rond het midden van de dag en later aan het begin van de avond. De grootste piek treedt 's morgens op na het drogen van de dauw bij opkomende wind, opwarmen van de lucht en dalen van de luchtvochtigheid. Een nat bladoppervlak, lage temperatuur en hoge luchtvochtigheid zijn niet bevorderlijk voor het vrijkomen van sporen. Dit patroon van sporenvuchten, waarbij de sporenconcentratie in de lucht is gecorreleerd met drie tot zes factoren zoals temperatuur, relatieve luchtvochtigheid (negatief), windsnelheid, hoeveelheid neerslag, hoeveelheid zonneschijn en bladnatperiode (negatief) wordt Type 1 verspreiding genoemd. Wanneer het vrijkomen van conidia geen periodiciteit vertoont en er zwakke of geen verbanden zijn met meteorologische grootheden wordt de sporenverspreiding aangeduid als Type 2 verspreiding. Soms komen grote aantallen conidia vrij aan het begin van een regenbui en neemt het aantal vrijgekomen conidia sterk af naarmate de regenval aanhoudt. Dit patroon wordt Type 3 verspreiding genoemd.

Als de conidia volwassen en kiemkrachtig zijn laten ze los. De sporen worden door de lucht verspreid. De door conidia van echte meeldauwschimmels via de lucht afgelegde afstanden zijn over het algemeen beperkt. De meeste conidia landen niet ver van de plant waarvan zij loslieten. Op 3 meter of meer van een geïnfecteerd aardbeienveld werden vrijwel geen conidiën meer aangetroffen met Burkhard sporenvallen (Perries, 1962a). De dichtheid van conidia van *S. macularis* boven een aardbeienveld was het hoogst in de vroege middag. In de avond en nacht werden vrijwel geen conidia gevangen met een Burkhard sporenvanger. Meer dan 90% van de conidiën werd aangetroffen binnen 1,5 m van de bron (Peries, 1962a; Blanco et al., 2004). De sporenvangsten waren positief gecorreleerd met temperatuur en negatief met relatieve luchtvochtigheid en neerslag (Blanco et al., 2004). Na neerslag duurt het enkele dagen voordat de sporendichtheid weer op hetzelfde niveau is als het niveau voor de regenbui (Peries, 1962b). De meeste conidia werden geteld na de eerste oogstperiode (Blanco et al., 2004). Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in de periode van bloei en oogst een tunneltje over de aardbeien werd geplaatst. Een andere verklaring is wellicht dat na de oogst nieuwe bladgroei optreedt. Dit is in overeenstemming met de bevindingen van Berrie (2000), die ook vooral meeldauwontwikkeling vindt na de eerste oogst bij hergroei

van de plant. Blanco et al (2004) vonden een correlatie tussen de conidiëndichtheid en de mate van aantasting van de vruchten 1 week later.

2.3.6 Overleving van sporen

Het kiempercentage neemt af naarmate de sporen langer geleden zijn gevormd. Peries (1962a) vond bijna een halvering van de kiemkracht 4 dagen na vorming van de conidiën. Hoge temperaturen in combinatie met lage RV hadden een negatief effect op het overleven van de sporen en diens gevolg op de kiemkracht (Peries, 1962a). Ondanks dat sporen niet bedoeld zijn om langdurig te overleven (Bushnell, 2002) werden in Israël zijn aanwijzingen gevonden dat conidia een periode van 5 maanden kunnen overleven, bij temperaturen tussen 15 en 30 °C en een relatieve luchtvochtigheid variërend van 55 – 97% in de afwezigheid van neerslag (Amsalem et al., 2006). Sporen van *Sphaerotheca macularis* bleken bij 0°C te kunnen overleven gedurende tenminste een periode van 40 dagen. Het kiempercentage nam echter af van 85% na 1 dag tot 10% na 40 dagen (Jhooty & McKeen, 1965). Peries (1962a) vond dat de overleving al na 7 dagen bij 0°C sterk afnam en 35 dagen was deze vrijwel 0%. Peries (1962a) gaf aan dat de overleving bij hogere temperaturen kort was. Daarbij werd geen temperatuurrange aangegeven.

Onder warme omstandigheden (> 28 °C) overleefden de sporen maar kort. In de range van 29 tot 41 °C overleefden de sporen 72 uur tot maximaal 12 uur (Jhooty & McKeen, 1965).

2.3.7 Latente periode

Indien een conidium op de epidermis van een geschikte waardplant terechtkomt, kan deze kiemen en een nieuwe kolonie vormen. Onder gunstige omstandigheden kan de bovenbeschreven cyclus van sporenkieming en vorming van nieuwe conidia bij aardbeienmeeldauw in 5 à 6 dagen doorlopen worden (Peries, 1962b). Volgens Dodgson et al (2007) zou de tijd tot rijping van de spore in een overwinterd aardbeinveld slecht 84 uur bedragen, onder gunstige omstandigheden. In een nieuw veld en na de eerste infectie zou de infectiecyclus of latente periode 144 uur bedragen onder gunstige omstandigheden. In Israël was de kortste latente periode gemeten 4 dagen (96 uur) bij een constante temperatuur van 20°C of 30°C en een relatieve luchtvochtigheid van 75% (Amsalem et al., 2006). Nat weer remt de groei van schimmeldraden en de vorming van conidia.

2.3.8 Cleistothecia

De infectiecyclus vanuit ascosporen is minder onderzocht. De in cleistothecia gevormde ascosporen worden na regenbuien uit de vruchtlichamen geperst en via de lucht verspreid. Wanneer een ascospore op de epidermis van een geschikte waardplant terechtkomt, kan deze daarop ontkiemen en de plant infecteren. Het verdere verloop van het infectieproces is vergelijkbaar aan die vanuit conidia.

Peries (1962a) concludeert dat cleistothecia geen rol spelen bij de epidemie van echte meeldauw in de teelt van aardbeien. Berrie (2000) komt echter tot de conclusies dat cleistothecia wel degelijk een bron kunnen zijn voor infectie in het voorjaar. Onderzoek door Gadoury et al (2010) liet zien dat cleistothecia wel degelijk een rol spelen bij de overwintering van meeldauw in aardbei in Noorwegen en de noord-oost VS. De ascosporen in de cleistothecia op bladmateriaal kunnen in 4 weken vitale ascosporen vormen. Waarna een koude periode nodig is om te rijpen. In de late winter en in het voorjaar is vrij water nodig voor de ascosporen om turgor op te bouwen om vervolgens vrij te komen. Het vrij komen van de ascosporen in het voorjaar liep synchroon met het weer tot ontwikkeling komen van de aardbeiplanten. Ongeveer 7 tot 10 dagen na het vrijkomen van de sporen worden kolonies van de schimmel zichtbaar.

2.3.9 Afweermechanismen

Met betrekking tot echte meeldauwschimmels kunnen de volgende afweermechanismen van belang zijn:

- 1) vorming van papillae, verdikkingen van celwanden plantencellen die gevormd worden op de plekken waar schimmels de cel proberen binnen te dringen. Papillae zijn beperkt tot monocotylen o.a. grannen en spelen voor aardbei geen rol.
- 2) vorming van hydrolytische enzymen, enzymen die de bouwstenen β -1,3-glucan en chitine van de

celwanden van schimmels afbreken. Hiervoor zijn geen overtuigende bewijzen gevonden.

3) overgevoeligheid (hypersensitive reaction), lokale celdood om verdere uitbreiding van de schimmel te in te perken. Overgevoeligheid is een resistentiemechanisme die ook opgewekt kan worden door zwakke pathogenen en bepaalde middelen. Men noemt dit verworven resistentie (SAR = systemic acquired resistance). Vacciplant, toegelaten in aardbei, is een elicitor die een dergelijke respons kan oproepen.

4) fytoalexinen, laagmoleculaire antimicrobiële verbindingen die planten vormen en ophopen na blootstelling aan micro-organismen of onder invloed van abiotische stressfactoren. In komkommer worden o.a. fenolen en flavonoiden gevormd die de haustoria van echte meeldauwschimmels afdoden.

2.3.10 Schade

Echte meeldauw kan elk bovengronds plantendeel aantasten. De meeste aantasting wordt meestal op het blad gevonden. Bij gevoelige rassen komt aantasting van de vrucht ook voor. Opbrengstverliezen komen voort uit enerzijds directe aantasting van de bloemen en de vruchten. Anderzijds leidt ernstige aantasting van het blad tot verminderde fotosynthese als gevolg van mycelium op het blad, necrose en bladval en daarmee tot schade (Maas, 1998).

Ook is de teeltwijze mede bepalend voor de schade die ontstaat. De aantasting door meeldauw van vruchten van het vatbare ras Camarosa was onder tunnels ongeveer 10 x zo hoog als in het veld (Xiao et al., 2001).

In het Verenigd Koninkrijk wordt aantasting door meeldauw van aardbeien vooral gevonden in doordragers zoals in Rapella, Calypso en Tango. De schade in Junidragers, zeker in het eerste jaar is niet zo groot. Na de eerste oogst als de planten worden gemaaid ten behoeve van een tweede oogst in het volgende teeltjaar is de kans op meeldauw aantasting van het blad veel groter. Echter de aantasting in het najaar had geen effect op de opbrengst in het volgende voorjaar (Berrie et al., 1998). Een teeltwijze waarbij aardbeien meerdere jaren blijven staan in het veld wordt in Nederland nauwelijks toegepast. De belangstelling voor doordragers neemt wel toe.

Het risico van aantasting hangt sterk af van de periode van het jaar. In de vollegrondsteelt van aardbei is het risico van aantasting in het voorjaar niet groot. Een beetje knippen van het blad is dan niet altijd een startpunt voor de bestrijding (knippen door droogte hier niet mee verwarren). Vanaf juni worden de weersomstandigheden veelal gunstiger voor de meeldauw en kan het nodig zijn chemisch in te grijpen. Met preventieve middelen zal dan geen sprake zijn van een schadedrempel. Met een curatief middel kan gestart worden met een bestrijding als de bladeren de eerste krulling vertonen als gevolg van de meeldauw (Ruimte voor Groenten).

2.4 Preventie

Sphaerotheca macularis is een obligate parasiet en infecteert alleen levend plantmateriaal. In Florida is geïnfecteerd uitgangsmateriaal een van de belangrijkste ziektebronnen voor het productieveld. Het gebruik van ziektevrij uitgangsmateriaal voor de productieteelt is een belangrijke manier om meeldauw in aardbeien te beheersen (Peres & Mertely, 2005).

Ruimtelijk scheiding tussen juni dragers en doordragers voorkomt overdracht van inoculum van meeldauw (Berrie, 2000). Niet beschreven wordt wat de minimum afstand is om verspreiding te voorkomen.

Verwijderen van gewasresten in het voorjaar wordt geadviseerd in verband met het opruimen van bronnen (Berrie, 2000). In de Nederlandse situatie zullen er maar weinig gewasresten in het voorjaar aanwezig zijn. Verwacht mag worden dat het wel zinvol is afgedragen teelten (gekoeld en doordragers) zo snel mogelijk in te werken om verdere vermeerdering en verspreiding van inoculum te voorkomen.

Rassen verschillen in gevoeligheid voor meeldauw. Bij de rassenkeus kan hiermee rekening worden gehouden. Echter, populaire rassen als Strawberry Festival en Camarosa zijn vrij gevoelig voor meeldauw (Peres & Mertely, 2005). Dit geldt ook voor het ras Elsanta dat veel geteeld wordt in Nederland en als erg gevoelig wordt beschouwd. Het ras Darselect is vrij gevoelig. De doordragers Evita en Selva zijn weinig gevoelig (Ruimte voor Groente). Hoewel er grote verschillen werden gevonden in de mate van resistentie voor echte meeldauw in aardbeirassen, was er geen enkel ras dat volledig immuun was voor infectie (Peres, 1962b; Arsic, 1965). Er zijn aanwijzingen voor erosie van de resistentie tegen meeldauw na

introductie van aardbeirassen in de praktijk.

Peries (1962b) geeft aan dat de mate van resistentie van een ras afhangt van het (on)gemak waarmee meeldauw de waslaag en de celwand kan binnen dringen. Is meeldauw eenmaal naar binnen gegroeid dan vind de haustorium vorming op de normale wijze plaats, ook op de wat meer resistente rassen. Peries (1962b) geeft niet aan of er een mechanische of chemische oorzaak is die penetratie bemoeilijkt bij resistente rassen. Naarmate de waslaag (cuticula) dikker is lijkt de aardbeiplant resistenter voor meeldauw (Jhooity & McKeen, 1965). Keus voor aardbeirassen of soorten met een dikkere cuticula kunnen wellicht aantasting door meeldauw deels voorkomen. Echter hierover is weinig bekend. Teeltomstandigheden die bijdragen tot de vorming van een dikkere waslaag kunnen mogelijk ook leiden tot een geringere aantasting door meeldauw.

De gevoeligheid voor een meeldauwaantasting is groter bij teelt op stellingen, in kassen (Maas, 1998), in tunnels (Maas, 1998; Xiao et al., 2001) en verhoogde ruggen dan bij vlakvelds teelt in de vollegrond. In meerjarige teelten ontstaan vaker problemen met meeldauw dan in eenjarige teelten omdat in meerjarige teelten meeldauw inoculum kan opbouwen (Berrie, 2000).

Aardbeien geteeld onder gekleurde folie (rood, roze, groen en blauw) hadden meer bladaantasting door echte meeldauw dan aardbeien geteeld onder glas of doorzichtige folie. Aantasting van de vruchten werden niet gevonden (Jordan & Hunter, 1972).

2.5 Bestrijding

2.5.1 Chemisch

In de Verenigde Staten wordt aangeraden een bestrijding uit te voeren zodra de eerste aantasting gevonden wordt (Peres & Mertely, 2005). In Nederland wordt vaak een preventieve strategie toegepast, waarbij bestrijding wordt uitgevoerd voordat meeldauw zichtbaar is. Starten met een bestrijding als de eerste symptomen gevonden worden is mogelijk als middelen met een curatieve werking kunnen worden ingezet. Preventieve middelen kunnen ingezet worden als verwacht wordt dat de omstandigheden voor infectie door meeldauw gunstig zijn. In de vollegrondsteelt van aardbeien zal dat vooral gelden voor de latere teelten. Op stellingen, in tunnels en kassen is de kans op het optreden van meeldauw groter en zal sneller een bestrijding moeten worden uitgevoerd.

Gangbare gewasbeschermingsmiddelen zijn te vinden in de Gewasbeschermingsgids of op <http://ctgb.nl/toelatingen> van het CTGB.

2.5.2 Biologische bestrijding en GNO's

Biologische- en bestrijding met gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oorsprong tegen echte meeldauw begint vorm aan te nemen. KHCO₃, Vacciplant en Enzicur hebben inmiddels een toelating in de teelt van aardbeien. Enzicur heeft echter inmiddels een opgebruiktermijn tot 27 augustus 2015 en vervalt dan weer. Voor de actuele stand van zaken raadpleeg de website van het CTGB.

2.6 Waarschuwingssystemen

De bovenstaande alinea's geven aan dat een epidemie van een echte meeldauwschimmel een complex van processen en gebeurtenissen omvat die beïnvloed worden door de omgeving en het weer. Door het effect van één of meer omgevings- of weersfactoren op belangrijke onderdelen van het complex getalsmatig te beschrijven met wiskundige formules, kan het belang van deze factoren in het verloop van een epidemie beter begrepen worden. Hiervoor wordt o.a. regressie analyse gebruikt. Regressie analyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens waarin vermoed wordt dat er sprake is van een samenhang.

Regressie-analyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens waarin (mogelijk) sprake is van een specifieke samenhang, aangeduid als regressie. Deze samenhang houdt in dat de waarde van een

stochastische variabele, op een storingsterm na, afhangt van een of meer in principe instelbare variabelen. Noemen we de stochastische variabele Y en de instelvariabele x (eventueel als vector), dan is het verband:

$$Y = f(x) + U,$$

Hierin stelt U de storingsterm voor, die onafhankelijk is van x (dat wil zeggen dat men aanneemt dat de volledige variatie te wijten is aan een fout in Y).

In deze relatie is de functie f onbekend, maar voor toepassing van regressie-analyse, wel behorend tot een bepaalde klasse die met een beperkt aantal parameters beschreven kan worden. Het paar x, Y wordt wel aangeduid als onafhankelijke en afhankelijke variabele of als verklarende en te verklaren variabele; ook wordt wel gesproken van voorspeller en responsvariabele.

De bovenstaande alinea's laten zien dat een epidemie van een echte meeldauwschimmel een reeks van gebeurtenissen omvat die beïnvloed worden door de omgeving en het weer.

Om de invloed van de verschillende omgevings- en weersfactoren op het verloop van een epidemie te kunnen begrijpen, wordt met wiskundige methoden gezocht naar de samenhang tussen deze factoren en de ontwikkeling van de ziekte in de plant of gewas, of het optreden van bepaalde gebeurtenissen in de infectiecyclus.

Om de invloed van de verschillende omgevings- en weersfactoren op het verloop van een epidemie te kunnen begrijpen, worden wiskundige modellen ontwikkeld om dit verloop getalsmatig te beschrijven.

De bestudering van de effecten van meteorologische grootheden op sporenkieming en het infectieproces wordt bemoeilijkt doordat deze processen plaatsvinden op het oppervlak van bladeren en stengels waar de omstandigheden verschillen van die in de omringende lucht. Bovendien worden niet alleen de biologische processen in de conidia beïnvloed door de temperatuur, maar ook de biologische processen in de plant.

Naast de weersomstandigheden beïnvloeden de aanwezigheid van voldoende aantallen geschikte waardplanten, hun onderlinge afstand en fysiologische toestand de ontwikkeling van een echte meeldauw epidemie.

2.6.1 Modellen in Rosaceae

Model PPO Bomen voor meeldauw in roos; p.m. F van Kuik.

Echte meeldauw in roos wordt veroorzaakt door de schimmel *Sphaerotheca pannosa*. Een meeldauwaantasting kan onder gunstige weersomstandigheden zeer veel nieuwe sporen vormen. De temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid zijn belangrijk. Vrij water heeft een remmend effect op de ontwikkeling van echte meeldauw. Neerslag is ongunstig voor de ontwikkeling van echte meeldauw. Het waarschuwingssysteem ontwikkeld door PPO-bomen geeft aan wanneer een bespuiting nodig is en met welk middel. Dit waarschuwingssysteem wordt gebruikt binnen het project 'Waarneming en waarschuwingssysteem Boomteelt.' Het model is gebaseerd op kwantitatieve relatie tussen de lengte van de infectiecyclus en temperatuur (y_1) en op een kwantitatieve relatie tussen de lengte van de infectiecyclus en relatieve vochtigheid (y_2):

$$Y = y_1 * y_2$$

waarbij y_1 afhankelijk is van de temperatuur met een maximum tussen 19 en 22°C

en y_2 van de relatieve vochtigheid met maximum tussen 90-100%.

Echter bij een bladnatpercentage van > 10% wordt Y op 0 gesteld.

Het model maakt gebruik van gemeten weerdata en geeft aan in hoeverre de omstandigheden gunstig waren voor de ontwikkeling van meeldauw in roos. Een spuitadvies wordt gegeven als een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden. Voor aardbei is deze drempel uiteraard niet bepaald.

Model Xu voor meeldauw in roos

Het roosmodel van Xu (1999) is gebaseerd op waarnemingen van de incubatieperiode (IP), postincubatieperiode (PP) en latentieperiode (LP), waarbij $IP + PP = LP$ (LP is synoniem met infectiecyclus).

De proeven werden bij verschillende temperaturen, die tijdens elk experiment constant zijn gehouden, uitgevoerd. Tijdens de experimenten werd de relatieve luchtvochtigheid op 80% gehouden. De infectiecyclus blijkt kwantitatief beschreven te kunnen worden met twee modellen een niet-lineair model voor IP en een lineair model voor PP. Met behulp van deze modellen is het mogelijk de duur van de infectiecyclus bij variërende temperaturen te voorspellen. De optimumtemperatuur voor de ontwikkeling van meeldauw in roos werd vastgesteld op 22 °C. De minimum en maximum temperatuur voor meeldauwontwikkeling liggen respectievelijk bij 3°C en 33 °C (Longree, 1933 in Xu, 1999).

In het roosmodel van Xu (1999) wordt geen rekening gehouden met het effect van relatieve luchtvochtigheid op de ontwikkeling van echte meeldauw. Het model van PPO-bomen houdt wel rekening met de relatieve luchtvochtigheid. Beide beschreven modellen geven geen voorspelling voor sporenproductie en de vitaliteit van de sporen. Een proces dat de voortgang van de epidemie uiteraard ook beïnvloedt. In het model van Xu (1999) wordt geen rekening gehouden met het effect van vrij water. Het model van PPO – bomen geeft aan dat in een situatie dat het blad van roos nat is de ontwikkeling van echte meeldauw stopt.

Model van Xu voor meeldauw in meidoorn

Meeldauw in meidoorn wordt veroorzaakt door *Podosphaera clandestina*, Xu & Robinson (2000) ontwikkelden een model dat het effect van temperatuur beschrijft op incubatie- en latentieperiode.

- De incubatieperiode is de tijdsduur tussen het begin van de infectie en het zichtbaar worden van de eerste ziekteverschijnselen.
- Latentieperiode is de periode verlopend tussen het tijdstip van infectie en het infectieus worden van de waardplant.

De ontwikkelingssnelheid (R(T) van de aantasting kon beschreven worden met een niet lineaire functie van temperatuur (T):

$$R(T) = (a + bT) c^T$$

Waarbij a, b en c schattingsparameters zijn.

Het model voorspelde de ontwikkeling goed bij zowel contante als fluctuerende temperaturen. In het geval van meeldauw op meidoorn was de optimale temperatuur voor ziekteontwikkeling 22°C. Minimum en maximum temperaturen voor ontwikkeling waren respectievelijk 2.5°C en 28 °C (Xu & Robinson, 2000). De relatie tussen temperatuur en ziekteontwikkeling in meidoorn is vergelijkbaar met die in roos en appel. De optimum temperatuur voor appelmeeldauw is 23°C. De temperatuurrange waarin appelmeeldauw zich kan ontwikkelen is tussen 3.5 en 32.5 °C (Xu, 1996). Appelmeeldauw is daarmee meer hitte tolerant dan meidoornmeeldauw.

Het model voor meidoorn geeft geen voorspelling van het aantal sporen dat gevormd kan worden. Evenmin geeft het model aan hoe lang een lesie infectieus kan blijven.

2.6.2 Modellen in aardbei

Adcon Telemetry

Adcon Telemetry (Oostenrijk) is o.a. gespecialiseerd in meten van weersgegevens in het veld en het draadloos verzenden van deze gegevens. Deze gegevens worden onder andere gebruikt voor het voorspellen van ziekten in diverse land- en tuinbouwgewassen. Adcon Telemetry heeft een model ontwikkeld voor meeldauw in aardbei. Het model berekent een ziekte-index. De toename van de ziekte-index in de tijd wordt zichtbaar gemaakt. Het model geeft informatie over de beschermingsgraad van het gebruikte gewasbeschermingsmiddel en geeft een aanbeveling tot een bespuiting wanneer dat nodig is. Dacom Plant Service is de Nederlandse vertegenwoordiger van Adcon Telemetry. <BOS aardbei meeldauw_Adcon.doc>

Dacom Plant Service

Het algemene principe van Plant Plus modellen bestaat uit twee sub-modellen (Raatjes et al., 2003):

- Berekening van onbeschermd deel van de plant, door nieuwe groei en afbraak van fungiciden.
- Infectiemomenten uitgaande van sporenvorming, sporenverspreiding, sporenkieming en infectie van het onbeschermd blad.

De combinatie van onbeschermd plantendelen en infectiemomenten leidt vervolgens tot spuitadviezen.

Het model van Dacom Plant Service gaat uit van weersgegevens, zowel historisch als voorspelt om infectiekansen te kunnen voorspellen. Daarnaast wordt ook rekening gehouden met gewasgroei.

Het betreft een interactief model, waarbij de telers zelf de volgende zaken invoert:

- De laatste bespuiting met datum/tijd, middel(en) en dosering(en)
- De waarnemingen van het gewas: dichtheid, leeftijd en groei nieuw blad
- Een inschatting van de regionale ziektedruk

Het model voorspelt wanneer er infectiekansen verwacht worden, gebaseerd op de levenscyclus van de schimmel en weerdata op uur-basis. Mede op basis van bovenstaande gegevens geeft het model een advies of een bespuiting noodzakelijk is. Het model geeft een advies met welk type middel (contact, curatief of systemisch) het beste een bespuiting kan worden uitgevoerd.

Het meeldauw-model van Dacom Plant Service wordt met name in Egypte gebruikt in de teelt van aardbeien. In Nederland is nog weinig ervaring opgedaan met dit model. Het meeldauwmodel zou ook kunnen werken onder een tunnel of in een kas. Uiteraard moeten dan wel de temperatuur en RV sensor in de tunnel of kas worden geplaatst (p.m. P. Raatjes).

UK Berry, 2000

In het Verenigd Koninkrijk is een simpel Beslissing Ondersteunend Systeem ontworpen voor het ras Elsanta geteeld in een meerjarige teeltwijze. Het systeem bestaat uit vier stappen en is gebaseerd op de aanwezigheid van cleistothecia in het gewas (Berry, 2000):

- Bestrijding van echte meeldauw in Juni dragers in het eerste oogstseizoen is niet nodig.
- Controleer het gewas in de herfst op de aanwezigheid van cleistothecia (vruchtlichamen). De cleistothecia kunnen worden onderscheiden met een loupe (10x) aan de onderkant van het door meeldauw aangetaste blad als donkere "speldeknooppjes".
- Indien cleistothecia aangetroffen worden dan zijn bespuitingen tegen meeldauw in het voorjaar van het 2^e of volgende oogstjaar nodig.
- Als geen cleistothecia worden aangetroffen, dan zijn geen bespuitingen nodig in het voorjaar. Het blijft dan wel noodzakelijk om het gewas te controleren op aantasting door echte meeldauw.

UK Dodgson et al, 2007

Het systeem dat Dodgson et al (2007) hebben gemaakt berekent het cumulatief aantal uren waarin de omstandigheden voor sporenkieming, sporenrijping en nieuwe sporulatie gunstig zijn. De uitkomst wordt gegeven als het percentage van het totale aantal uren nodig voor een spore om tot rijping te komen. Het model voorspelt de eerste hoge infectiekans na overwintering van het gewas, i.e. na 84 uur gunstige omstandigheden. Daarnaast voorspelt het model perioden met hoge infectiekansen, i.e. 144 uur met gunstige omstandigheden. Het model gebruikt daarvoor weersgegevens vastgelegd in de tunnel door meteostations op het bedrijf. De voorspellingen zijn dan ook teelt specifiek. Het model moet nog wel gevalideerd worden. De precieze input van het model is niet beschreven. Optimum temperatuur voor kieming wordt gesteld op 15.5 °C, optimum temperatuur voor groei en sporulatie op 18 °C. Maximum temperatuur voor beide parameters werd gesteld op 30°C.

UC Davis Strawberry Powdery Mildew Risk Index

Doug Gubler heeft voor aardbeitelers in Californië (VS) een model ontwikkeld gebaseerd op temperatuur. Volgens Gubler ligt de optimale temperatuur voor de ontwikkeling van echte meeldauw bij 18 tot 27°C gedurende 6 tot 8 uur tijdens de dag. Het model maakt gebruik van weerstations om temperaturen te registreren. Op basis van weersgegevens die al of niet gunstig zijn voor ziekteontwikkeling worden punten toegekend. Op basis van punten wordt het optimale spuitinterval bepaald. Naast het aardbeienmodel is er het druivenmodel. Het spuitinterval in druiven kan verlengd worden tot 14 dagen bij een index van 0-30. Bij een index van 60 tot 100 wordt het spuitinterval verkort tot 7 dagen. Na ieder bespuiting wordt de index weer teruggezet naar 0. Voor aardbeien is een gelijkaardig model ontwikkeld (Cline, 2002).

In een validatiestudie bleek dat het model de ziekteontwikkeling in het veld vroeg in het seizoen goed kon voorspellen. Later in het seizoen werd het teruglopen van de mate van aantasting door het model niet goed voorspelt. Mogelijk werd dit veroorzaakt doordat er later in het seizoen minder jong bladmateriaal aanwezig is. Daarnaast hebben temperaturen boven de 35°C een negatief effect op infectie, overleving en sporulatie (Hoffman & Gubler, 2002).

Agrovision voorheen WeerOnLine

Agrovision heeft een model ontwikkeld voor de kans op infectie van aardbeien met Botrytis en meeldauw. De teler kan zich op het model abonneren. Het Botrytis model wordt verder buiten beschouwing gelaten. Het model van Agrovision geeft semi kwantitatieve infectiekansen voor meeldauwinfectie. Dat wil zeggen de infectiekans wordt ingedeeld in geen (o), matig (!), groot (+) en zeer groot (++). Vanaf een matige infectiekans wordt een bespuiting geadviseerd. Het model is gericht op de teelt van aardbeien in de vollegrond. De informatie is postcode specifiek.

Het model geeft een advies in hoeverre er sprake is van kritiek weer in de nabije toekomst. Tevens wordt informatie verkregen of kritieke perioden in het verleden.

Het model geeft geen advies over het te gebruiken gewasbeschermingsmiddel, noch over het spuitinterval dat aangehouden kan worden. Evenmin is er een relatie gelegd tussen het niveau van de voorspelde infectiekans en de actie die daarop zou moeten volgen.

2.6.3 Conclusies

Een probleem bij de ontwikkeling van waarschuwingssystemen tegen echte meeldauwschimmels is het gebrek aan kennis van de biologie van deze pathogenen. Vooral over het effect van bladnatperioden op de epidemiologie ontbreekt nog kennis. De bladnatperiode mag niet te kort zijn om kieming mogelijk te maken en ook niet te lang om de groei van het mycelium niet te verhinderen. Daar komt nog bij dat in een gewas situatie grote verschillen in bladnat te vinden zijn op bladeren in verschillende posities aan de plant.

Tot nu toe is gebleken dat de waarde van ziekte voorspellingen op basis van weersverwachtingen of epidemiologische modellen beperkt is omdat de ziekte op het moment dat de relevante weers- en andere gegevens verzameld en verwerkt zijn, veelal al te ver ontwikkeld is om de ziekte te voorkomen.

De bestudering van de effecten van meteorologische grootheden op sporenkieming en het infectieproces wordt bemoeilijkt doordat deze processen plaatsvinden op het oppervlak van bladeren en stengels waar de omstandigheden verschillen van die in de omringende lucht. Oude laboratoriumstudies op microscoopglazen m.b.t. effect temperatuur zijn hierdoor beperkt bruikbaar.

Bovendien worden niet alleen de biologische processen in de conidia beïnvloed door de temperatuur, maar ook de biologische processen in de plant.

3 Sporulatie

3.1 Inleiding

Om een aantasting van echte meeldauw in aardbeien te krijgen moet aan 3 voorwaarden worden voldaan. Er dient een bron aanwezig te zijn, met andere woorden de ziekteverwekker moet aanwezig zijn. De waardplant, in dit geval aardbei, eveneens. Daarnaast moeten de weersomstandigheden gunstig zijn voor de ziekteverwekker om tot sporulatie, verspreiding en infectie van de plant te komen. In geval van echte meeldauw speelt de "vitaliteit" van de plant eveneens een rol.

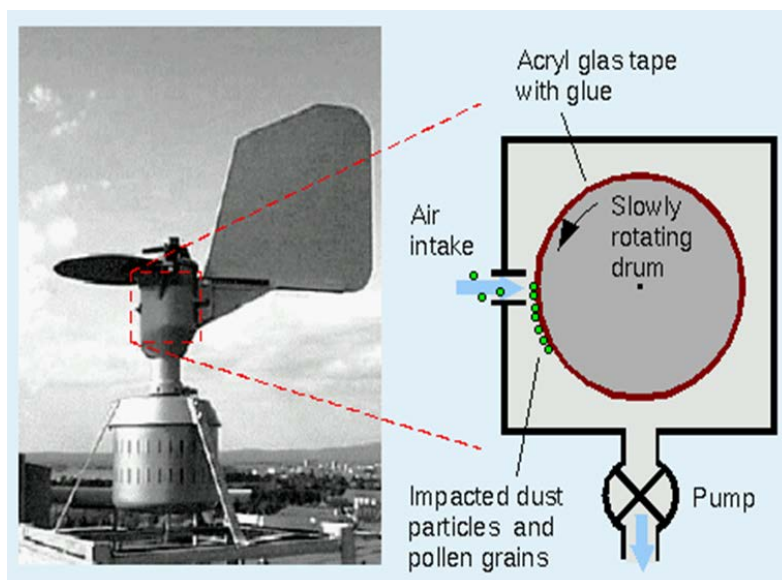
Aardbei is een vegetatief vermeerderd gewas. Dit betekent dat in theorie de meeldauw met plantmateriaal mee kan komen als er een aantasting heeft plaats gevonden in de opweekfase. Verdorde bladeren zijn geen bron voor meeldauw afkomstig uit schimmeldraden. Eventuele cleistothecia op dit blad zijn kunnen de winter / koelperiode wel overleven. Vanuit deze cleistothecia komen ascosporen vrij die de start van een nieuwe epidemie kunnen veroorzaken.

Bij inspectie werden geen cleistothecia gevonden in het resterende bladmateriaal nadat de planten uit de koelcel kwamen. In Noorwegen en de VS werd in productietelten in de late herfst vaak cleistothecia gevonden als het gewas aantasting hoog is, meer dan 5% van de bladeren aangetast door meeldauw (Gadoury et al., 2010). Op basis van de internationale literatuur mag aangenomen worden dat de infectie vanuit ascosporen ook voor aardbei in Nederland een belangrijke inoculumbron vormt.

De belangrijkste verspreiding tijdens een epidemie van meeldauw in het veld gaat via ongeslachtelijke sporen, de zogenaamde secundaire verspreiding.

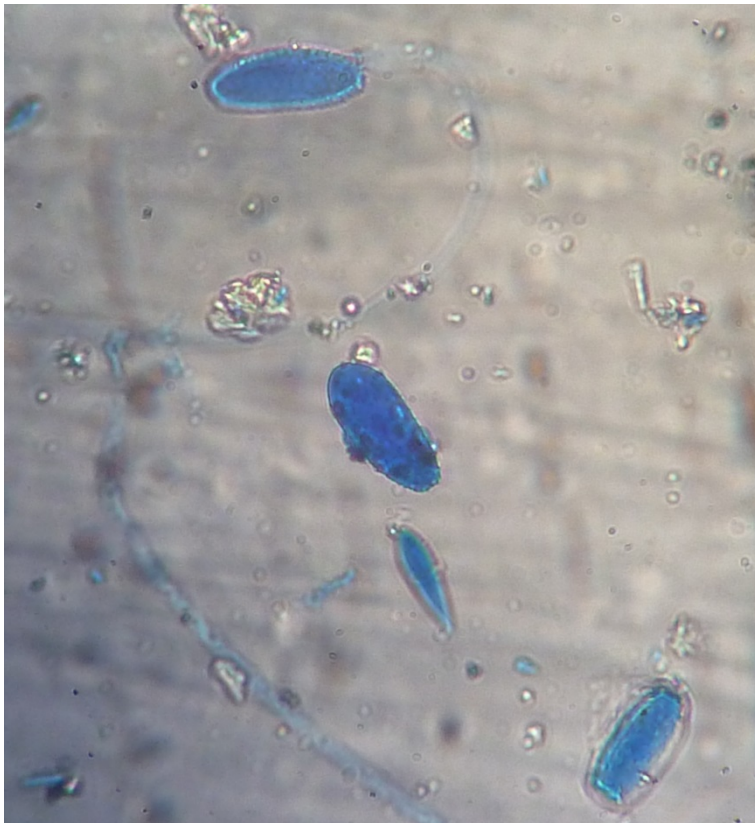
3.2 Sporentelling

Meeldauw sporen werden gevangen met een Burkhard sporenvanger (Figuur 2). De sporenvanger werd in een aardbeiveld geplaatst. De sporenvanger zuigt 600 l lucht per uur aan. De deeltjes in de lucht slaan op een tape ingevet met mowiol. De tape is bevestigd op een ronddraaiende schijf. Deze schijf draait in een week tijd rond. Door het begin en eindpunt nauwkeurig te markeren kan exact bepaald worden op welk tijdstip de sporen gevangen werden. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van een sporenvanger.



Figuur 2. Principe van een sporenvanger

Telling van de sporen vindt plaats onder een lichtmicroscop. Om makkelijker te kunnen tellen worden de sporen gekleurd (Figuur 3). Op de tape worden naast meeldauw sporen ook sporen van andere schimmels gevonden, evenals pollen en zanddeeltjes. Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen meeldauwsporen en sporen van andere schimmels. Het is niet mogelijk om onderscheid te maken tussen meeldauw sporen van de soort voorkomend op aardbei of van meeldauw afkomstig van andere plantensoorten.



Figuur 3 Sporen van echte meeldauw afkomstig van aardbeiplanten op een Burkhard tape onder een lichtmicroscop 40 x.

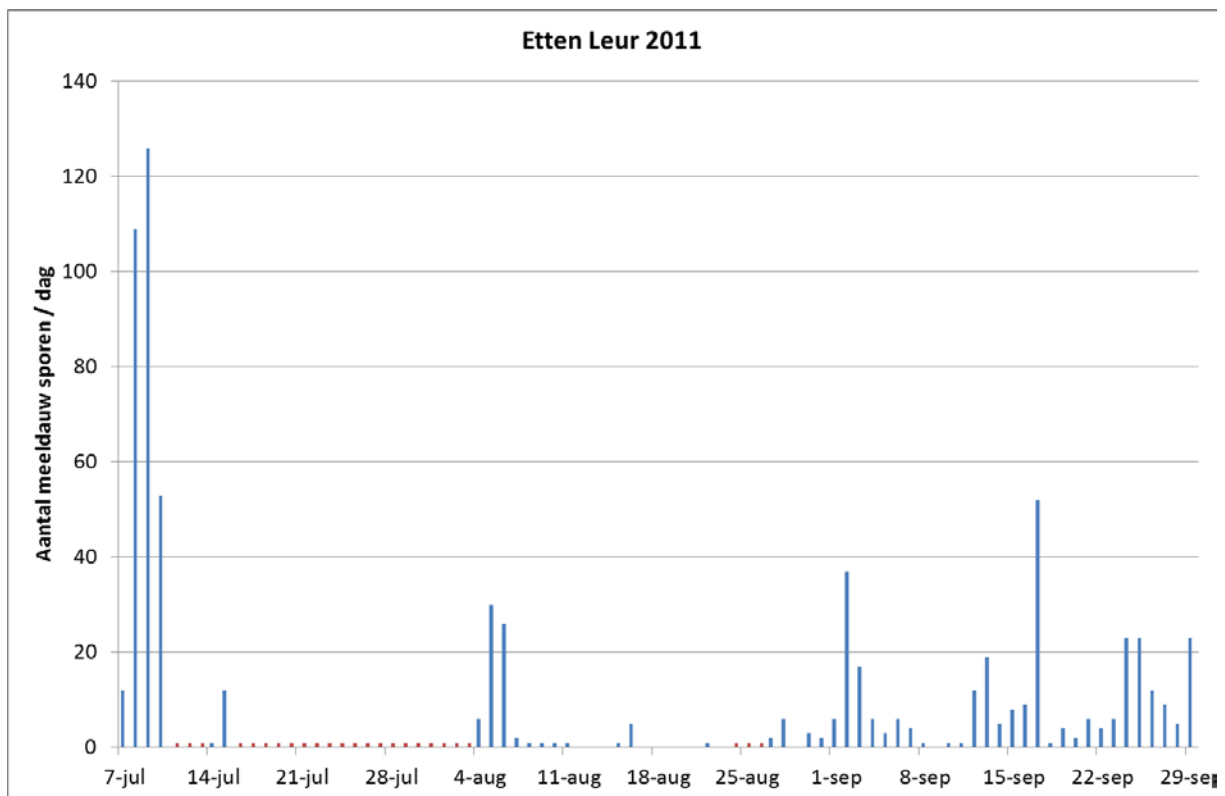
3.3 Sporulatie en meeldauw waarnemingen Etten Leur 2011

In de buurt van een aardbeiproef op het demo bedrijf in Etten – Leur werd een Burkhard sporenvanger geplaatst Figuur 4.

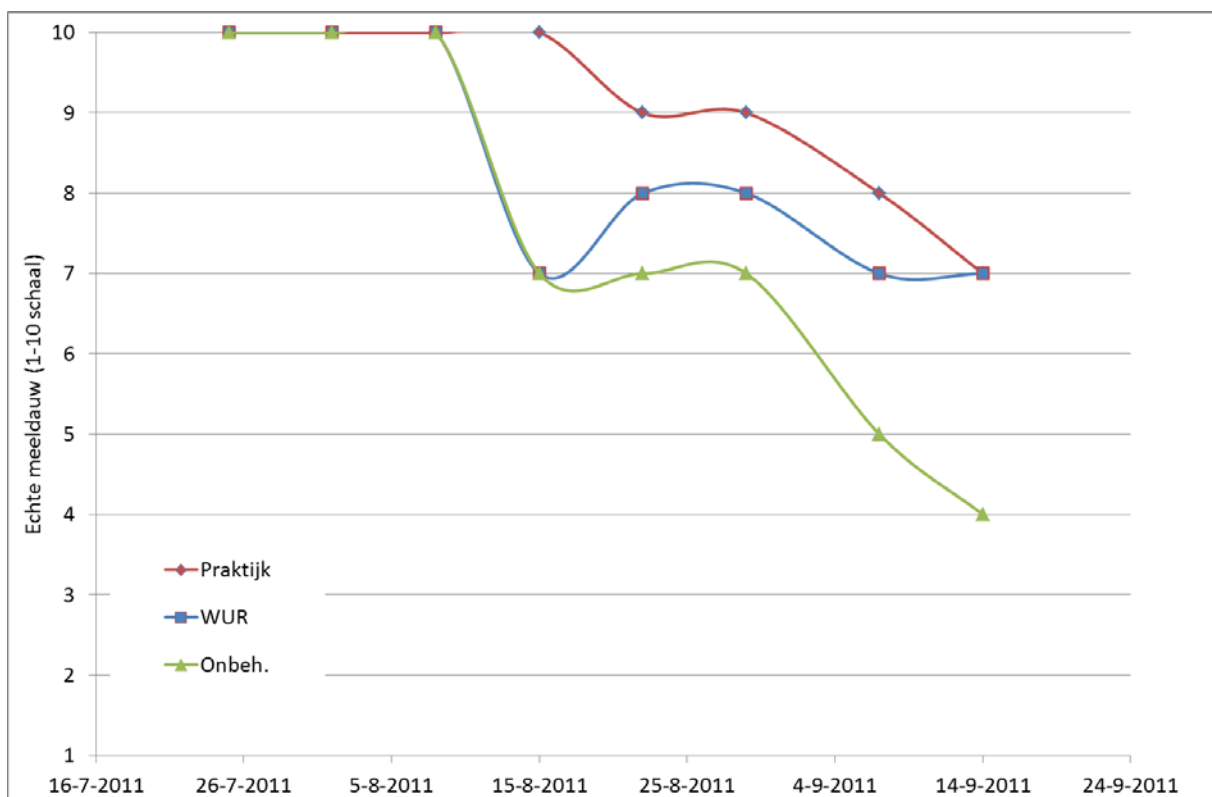


Figuur 4. Sporenvanger in de nabijheid van een aardbeiveld en een teelt op stellingen.

Figuur 5 geeft een overzicht van het aantal gevangen sporen. Met name begin juli was er een sporulatie piek. In de proef werd de eerste echte meeldauw waargenomen rond half augustus (Figuur 6). Afgaande op de sporulatie waarnemingen is de eerste infectie mogelijk ontstaat rond 5 augustus. Dit is echter niet met zekerheid te zeggen omdat van een groot deel in juli geen waarnemingen beschikbaar zijn. Onder gunstige omstandigheden is de latente periode 3,5 dag, wat wil zeggen dat na infectie de symptomen van 3.5 dag zichtbaar kunnen worden. De meeldauwsporen die gevonden zijn rond 5 augustus kunnen tot infectie hebben geleid. Deze infectie zou zichtbaar geworden kunnen zijn rond 9 augustus.



Figuur 5 Sporulatie echte meeldauw (blauw); op de rode data kon niet geteld worden.

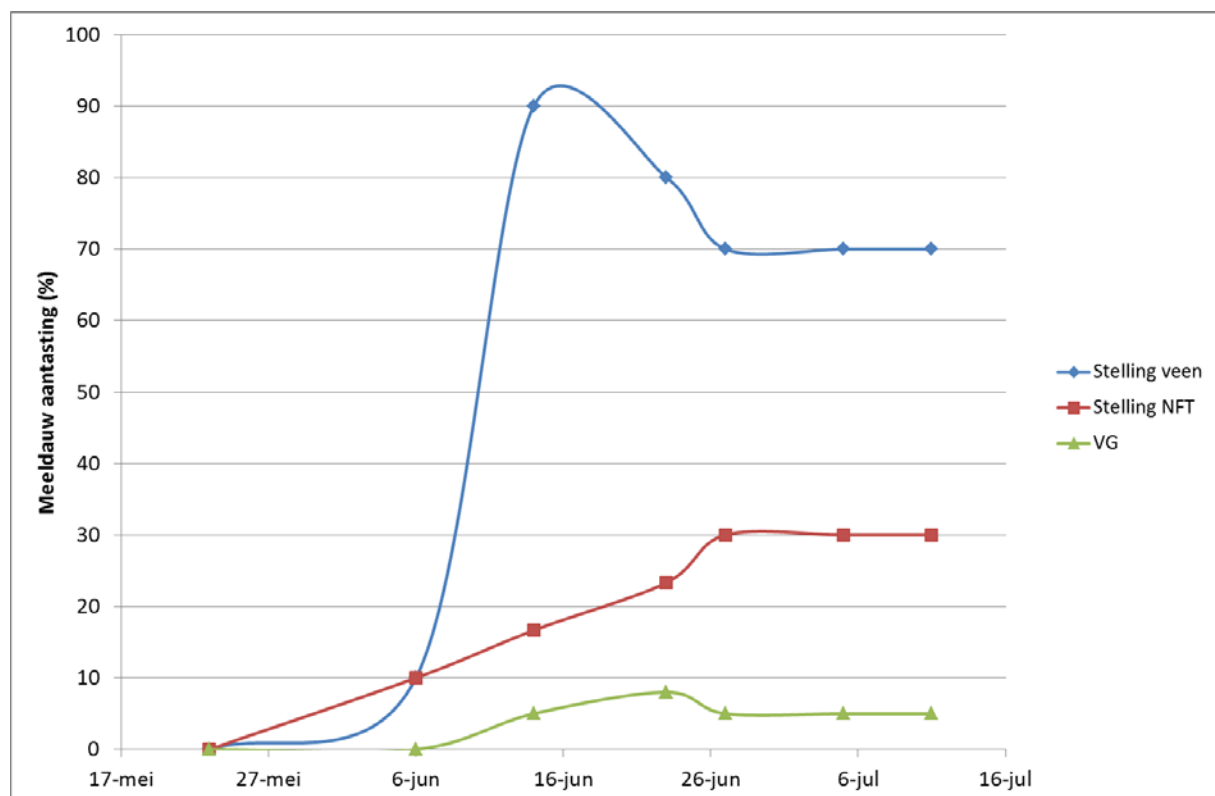


Figuur 6. Ontwikkeling echte meeldauw in aardbeien op een schaal van 1 – 10 (gezond); waarnemingen door DLV plant, aardbei demo perceel in Etten-Leur.

3.4 Meeldauw waarnemingen Vredepeel 2011

Op de proeflocatie Vredepeel lagen 2 teeltwijzen naast elkaar. Aardbeien van het ras Elsanta werden geteeld in de vollegrond, vlakvelds en op stellingen. Op stellingen werd geteeld op veen substraat en volgens het NFT systeem. Een Burkhardsporenvanger werd geplaatst in de verlate teelt.

Op de stellingen werd eerder meeldauw waargenomen dan in de vollegrond. Opmerkelijk is dat in het NFT systeem beduidend minder meeldauw werd waargenomen dan bij teelt op veen (Figuur 7) in de onbehandelde controle. Wel werd er meer echte meeldauw aangetroffen op de stelling dan in de vollegrond. Vergaande conclusies mogen hier echter niet uit getrokken worden, omdat op de stelling slechts 1 goot met veen substraat lag en 3 goten met NFT. Het gevonden verschil kan op positie van de goten of simpelweg op toeval berusten. Evenmin is een rechtstreekse vergelijking te maken met de volle grond. Weliswaar lagen beide proeven op dezelfde locatie, toch was de afstand tussen de proeven ongeveer 25 m.



Figuur 7. Ontwikkeling van echte meeldauw op stellingen (veen substraat en NFT) en in de volle grond in de onbehandelde controles, in 2011 (Vredepeel).

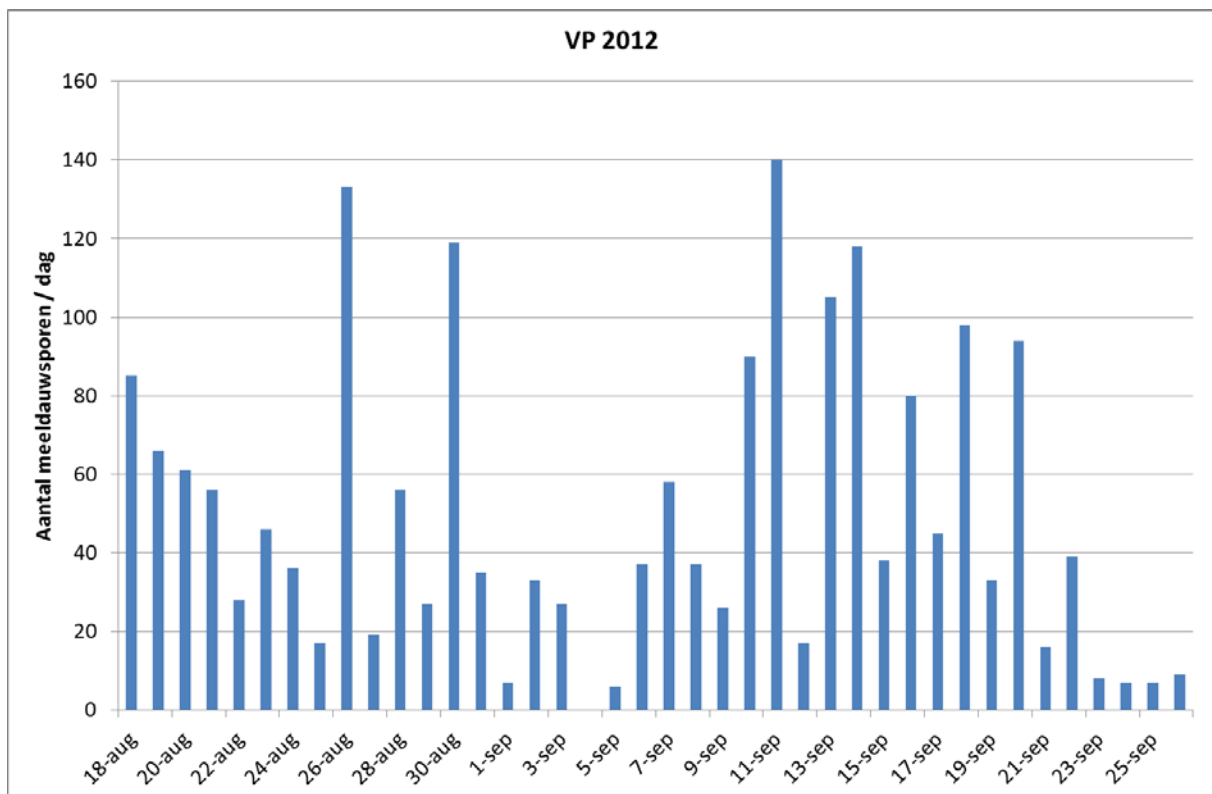
3.5 Sporulatie en meeldauw waarnemingen Vredepeel 2012

Op de proeflocatie Vredepeel lagen 3 teeltwijzen naast elkaar. Aardbeien van het ras Elsanta werden geteeld in de vollegrond en op ruggen. Op stellingen werd geteeld op het NFT systeem en het ras Sonata. De sporenvanger stond in de verlate of gekoelde teelt (Figuur 8)



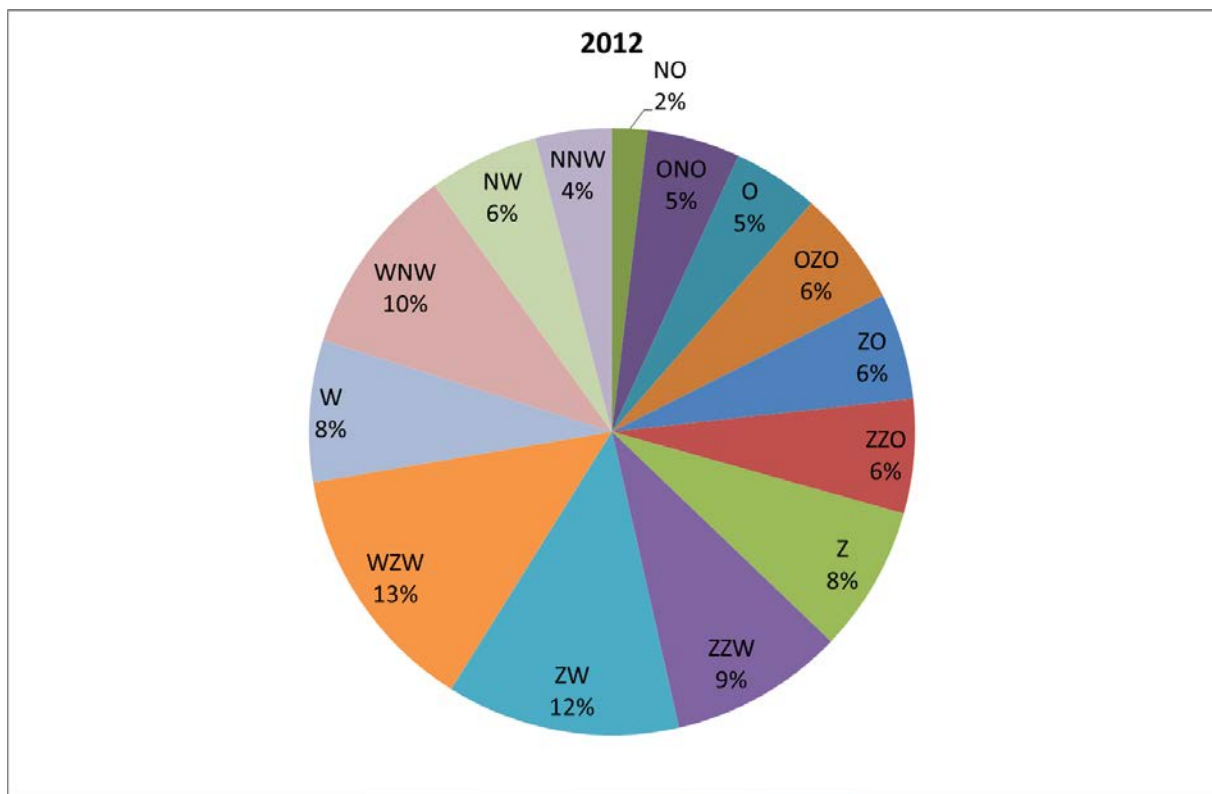
Figuur 8. Burkhard sporenvanger in de verlate teelt van aardbeien, op de achtergrond teelt op ruggen, in Vredepeel, 2012.

Vanaf 18 augustus tot 26 september werd er vrijwel elke dag echte meeldauwsporen boven het gewas gevonden (Figuur 9).



Figuur 9. Sporulatie echte meeldauw waargenomen met een Burkhard sporenvanger in Vredepeel, 2012.

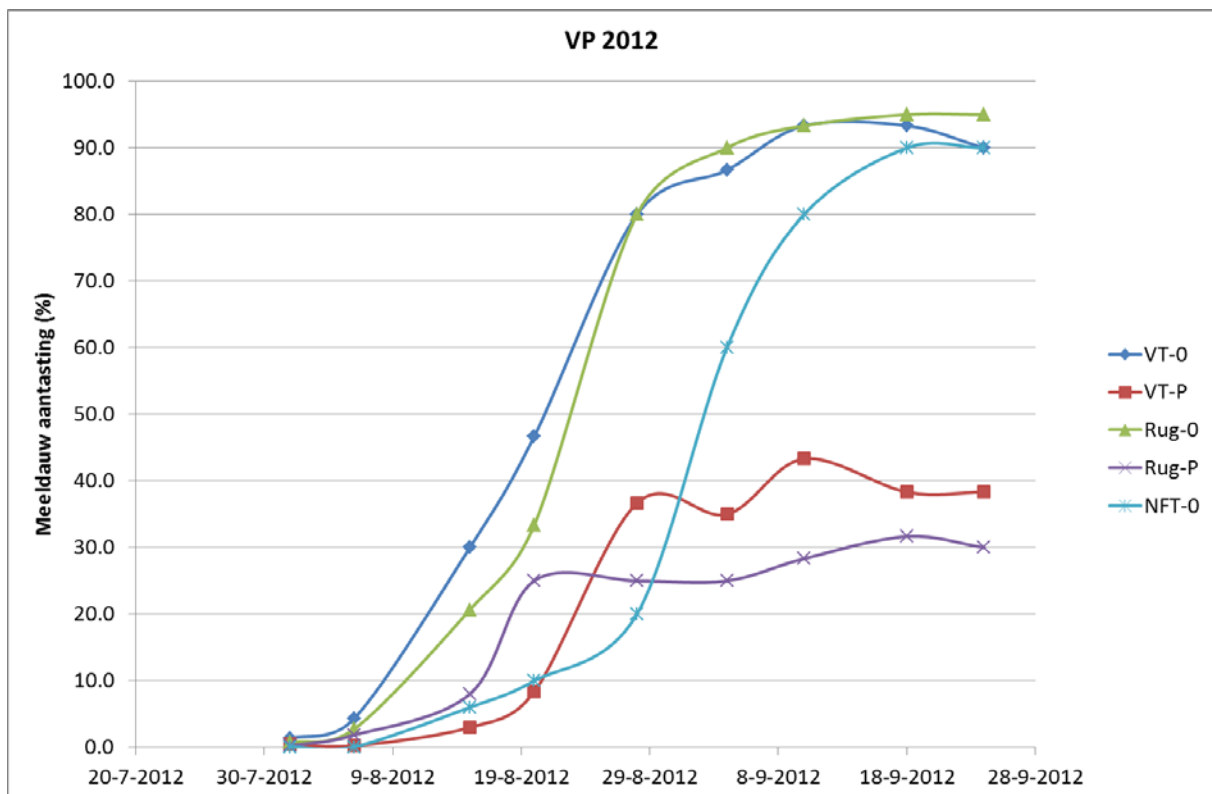
Er was een sterke relatie tussen het aantal sporen en de windrichting. Bij zuid-westen wind werden de relatief meeste sporen gevangen (Figuur 10). Dit kan toegeschreven worden aan een eerdere verlate teelt die ten zuiden van het proefveld lag. In een waarschuwingssysteem is windrichting geen bruikbare parameter, tenzij de positie van bronnen in de omgeving bekend is. Dat zal meestal niet het geval zijn.



Figuur 10. Effect van windrichting op het relatief aantal waargenomen sporen, gecorrigeerd voor de frequentie dat de windrichting voor kwam. N en NNO wind kwam niet voor tijdens de meetperiode.

Op de stellingen kwam de meeldauw epidemie trager op gang dan in de vollegrond (Figuur 11), ongeacht of vlakvelds geteeld werd of op ruggen. Op de stellingen werd niet tegen meeldauw gespoten. Dat de meeldauw later op gang kwam op de stelling kan er mee te maken hebben dat er Sonata werd geteeld, terwijl in de verlate teelt Elsanta was geplant. Bovendien werd de Sonata ook nog eens geteeld op NFT, in een het experiment in 2011 kwam de meeldauw epidemie langzamer op gang op NFT in vergelijking met teelt op substraat. Daarnaast lagen de stellingen zuidelijk van de verlate teelt. Tussen de stellingen en de verlate teelt lag een verlate teelt van eerdere datum met aantasting van echte meeldauw. Deze bron lag dichterbij de verlate teelt dan bij de stellingen. Simpelweg ziekte druk kan het verschil tussen beide teeltwijzen ook hebben veroorzaakt.

De echte meeldauw epidemie ontwikkelde zich in gelijke mate bij de teelt op ruggen als in de vlakveldsteelt, in de onbehandelde controle.

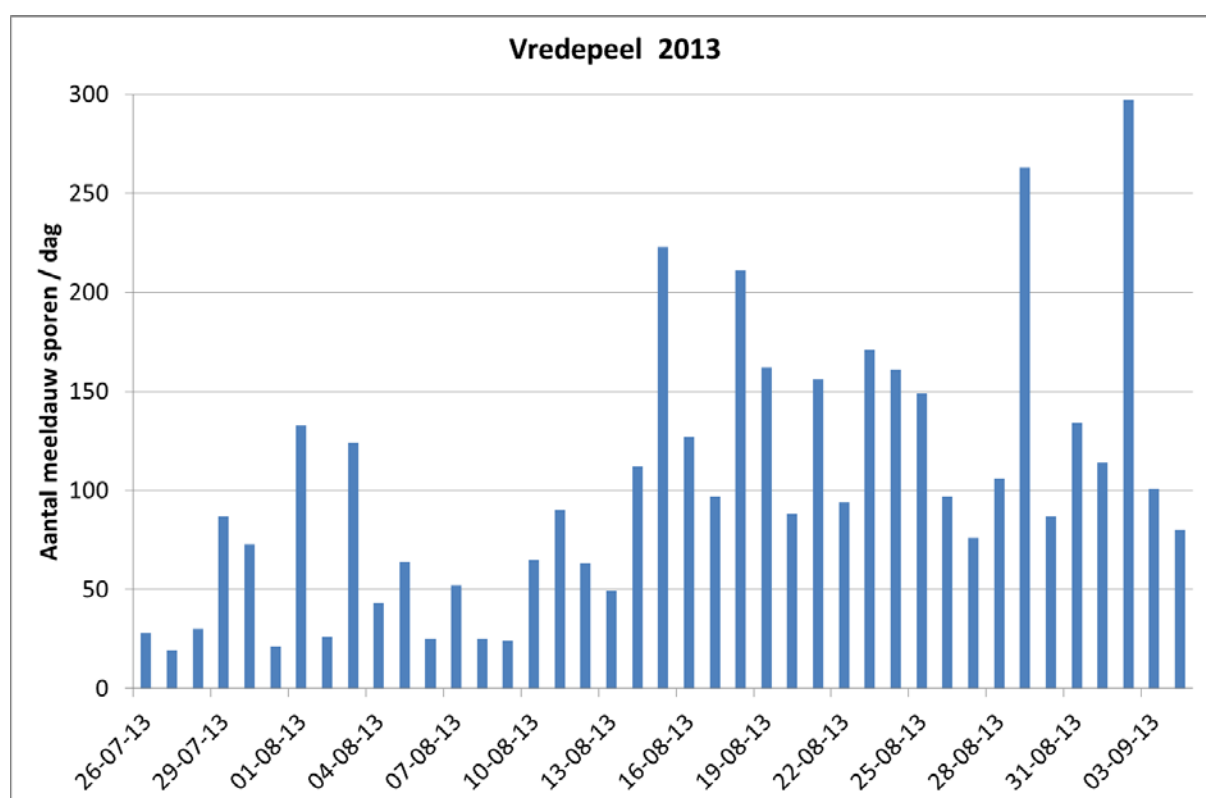


Figuur 11. Ontwikkeling van echte meeldauw op stellingen (NFT, Sonata) en in de volle grond (VT, Elsanta) in 2012, O = onbehandeld, P = praktijk. De teelt op NFT kan niet zondermeer vergeleken worden met de verlate teelt vlakvelden en op de rug.

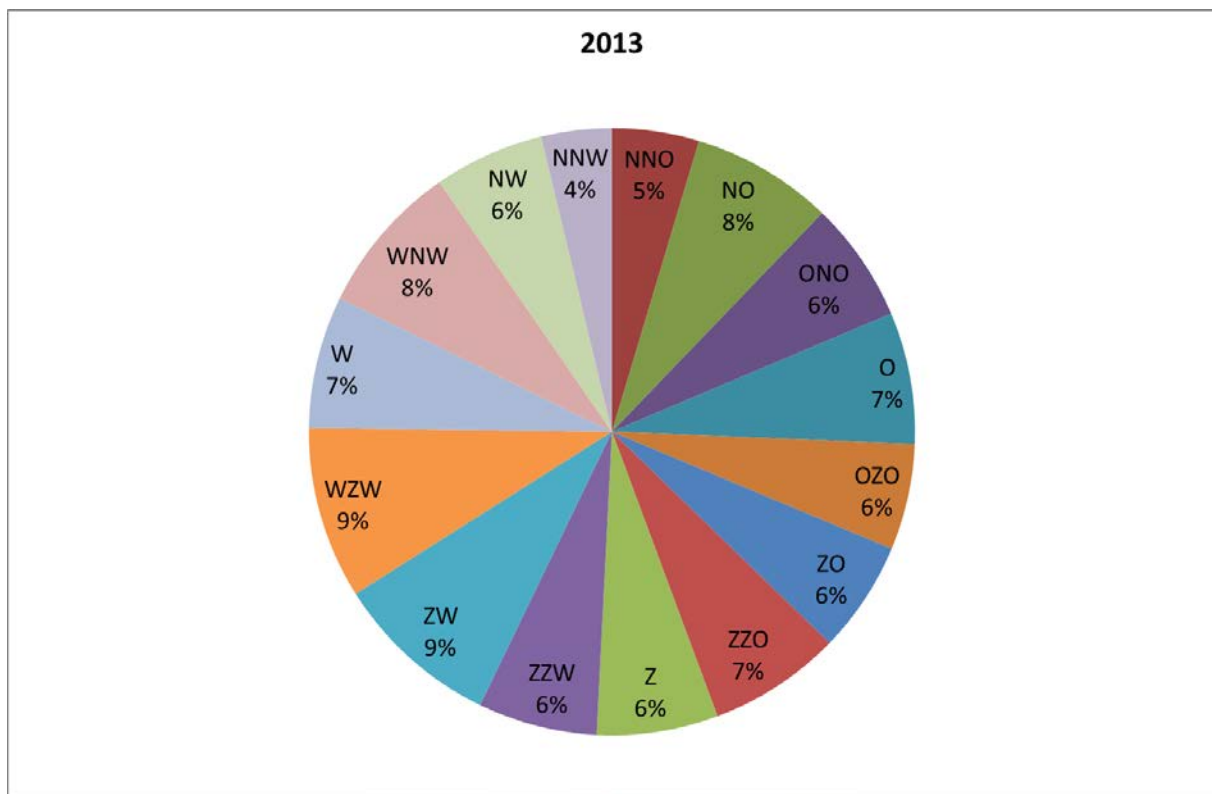
3.6 Sporulatie en meeldauw waarnemingen Vredepeel 2013

De sporenvanger werd in een proefveld geplaatst van EU Berry. Tapes werden geteld van 26 juli tot en met 4 september. In 2013 werden elke dag sporen van echte meeldauw aangetroffen (Figuur 12). In de eerste 3 weken lag het aantal waargenomen sporen lager dan in de laatste 3 weken. In 2013 was er nauwelijks een relatie tussen het aantal sporen en de windrichting (Figuur 13). In tegenstelling tot in 2012 was er in 2013 geen aanwijsbare bron voor echte meeldauw in de omgeving aanwezig.

Vanaf eind juli nam de mate van meeldauw aantasting in de eerste verlate teelt sterk toe (Figuur 14) en in de tweede teelt vanaf de tweede helft augustus (Figuur 15).



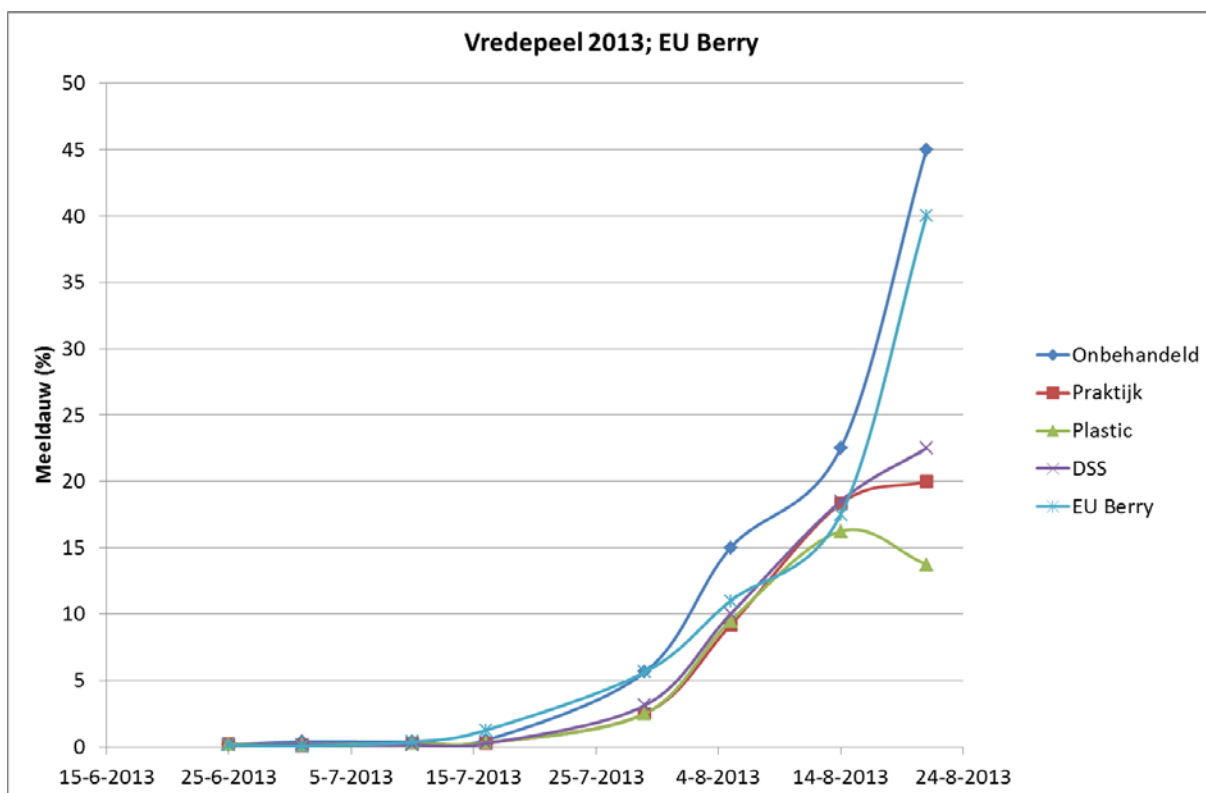
Figuur 12. Sporulatie echte meeldauw waargenomen met een Burkhard sporenvanger in Vredepeel, 2013.



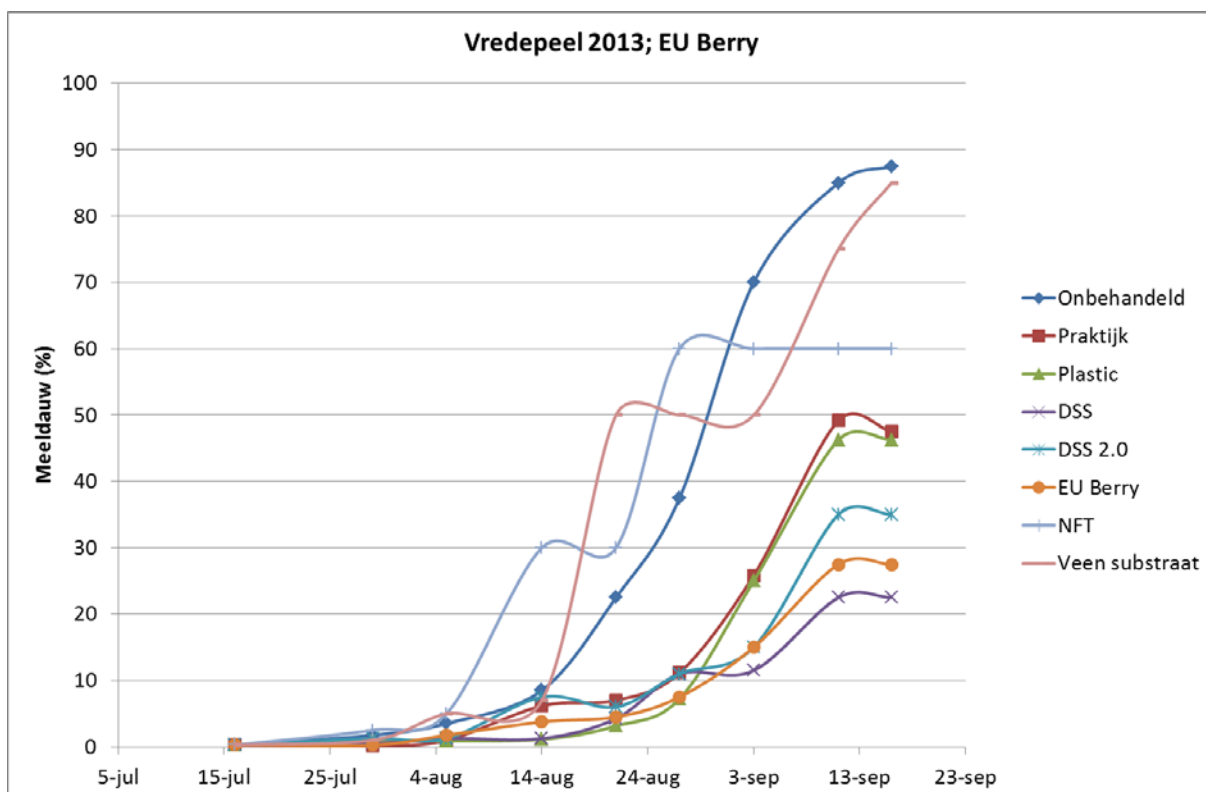
Figuur 13. Effect van windrichting op het relatief aantal waargenomen sporen, gecorrigeerd voor de frequentie dat de windrichting voor kwam. N wind werd niet vastgesteld tijdens de meetperiode.

De start van de epidemie kon vastgesteld worden rond half juli in de eerste teelt en begin augustus in de tweede teelt. Met de toename van de mate van aantasting in het veld nam tegelijkertijd ook de mate van sporulatie toe.

In 2013 werd er weer een vergelijking gemaakt tussen teelt op NFT en substraat. In tegenstelling tot in 2011 was de meeldauw epidemie op NFT vergelijkbaar met die op de teelt van substraat. Wel vlakke de meeldauw epidemie op het eind van de teelt op NFT meer af in vergelijking met teelt op substraat. Beheersing van echte meeldauw volgens een aangepast waarschuwingssysteem + bestrijdingsstrategie gericht op zo weinig mogelijk residu (EU Berry), gaf in de eerste teelt van 2013 tot 10 dagen voor het einde van de teelt een vergelijkbare beheersing dan de praktijk en het standaard waarschuwingssysteem, echter daarna nam de epidemie snel toe tot op het niveau van de onbehandelde controle (Figuur 14). In de tweede teelt werden twee varianten van getest EU Berry gericht op waarschuwingssysteem en beperkte inzet fungiciden en DSS 2.0 een aangepaste DSS voor meeldauw. In beide systemen werd minder meeldauw gevonden dan in de praktijk, echter beide systemen gaven geen verbetering ten opzichte van de bestaande DSS (Figuur 15).



Figuur 14. Ontwikkeling van echte meeldauw in aardbeien, eerste teelt Vredepeel 2013, bij verschillende gewasbeschermingsstrategieën.

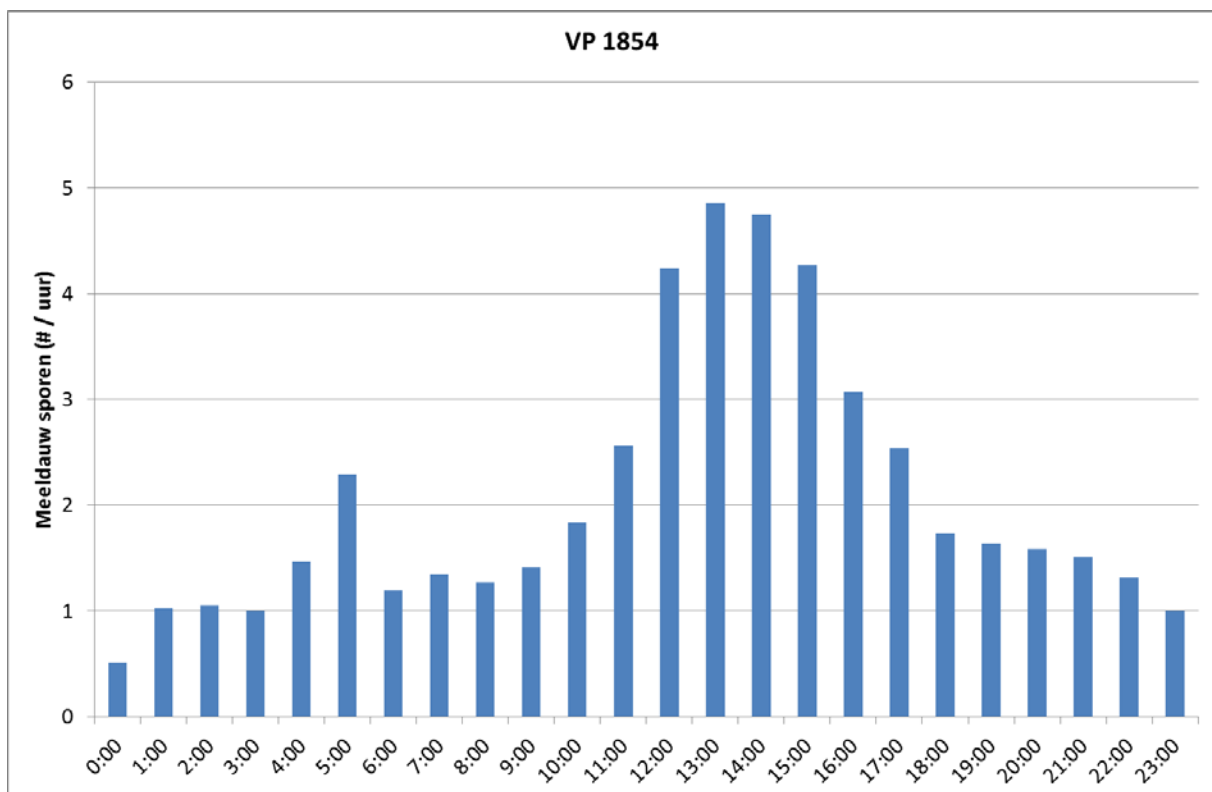


Figuur 15 Ontwikkeling van echte meeldauw in aardbeien, verlate teelt (Elsanta) en stellingenteelt (Elsanta) Vredepeel 2013, bij verschillende gewasbeschermingsstrategieën..

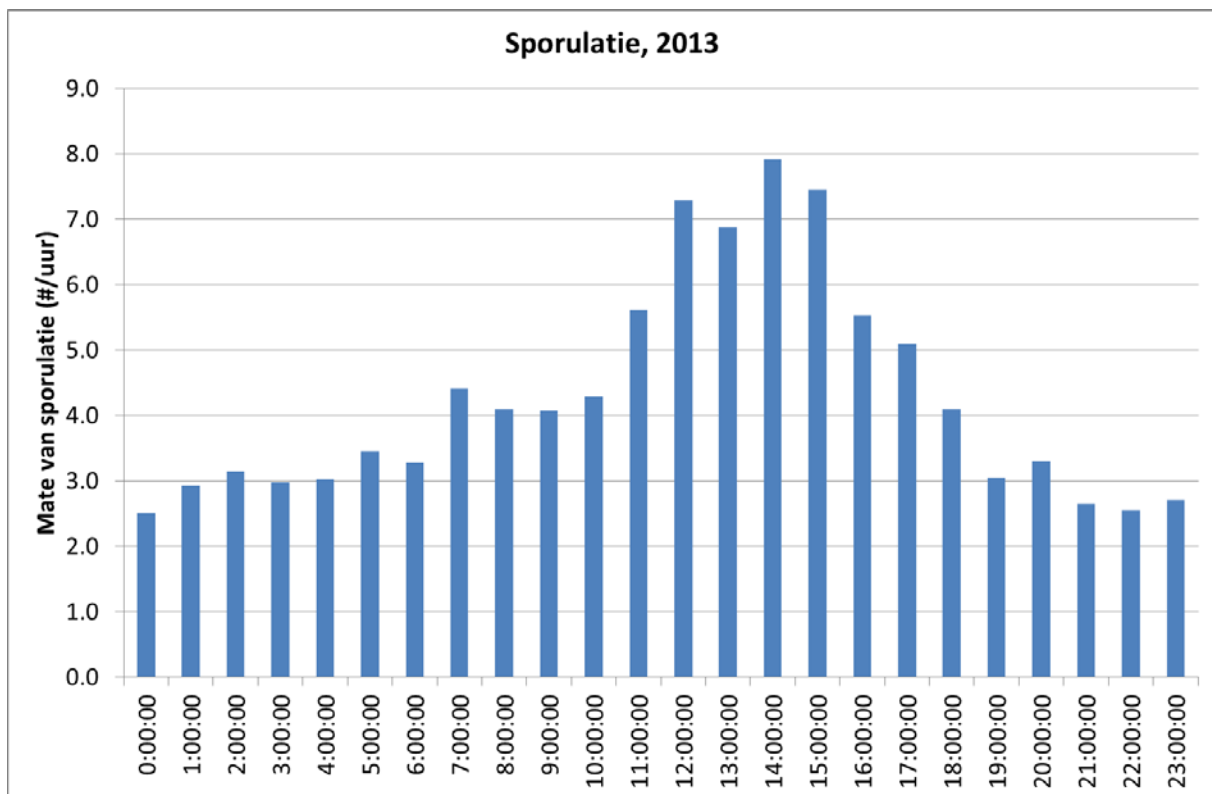
3.7 Mate van sporulatie gedurende de dag

Zowel in 2012 als in 2013 was er gemiddeld genomen een sporulatiepiek in de vroege middag. Echter op elk uur van de dag kan sporulatie waargenomen worden. Figuur 16 en Figuur 17. Zoals eerder beschreven komt bij de meeste meeldauw soorten de sporen vrij in de middag en de vroege avond. Voor aardbeimeeldauw is het verband met het dagritme minder uitgesproken, desalniettemin is er een piek in de vroege middag. Deze piek is overigens ook nog relatief laag.

Het vrijkomen van sporen is geassocieerd met een dalende relatieve luchtvochtigheid.



Figuur 16 Mate van sporulatie van echte meeldauw, per uur over de dag in 2012.



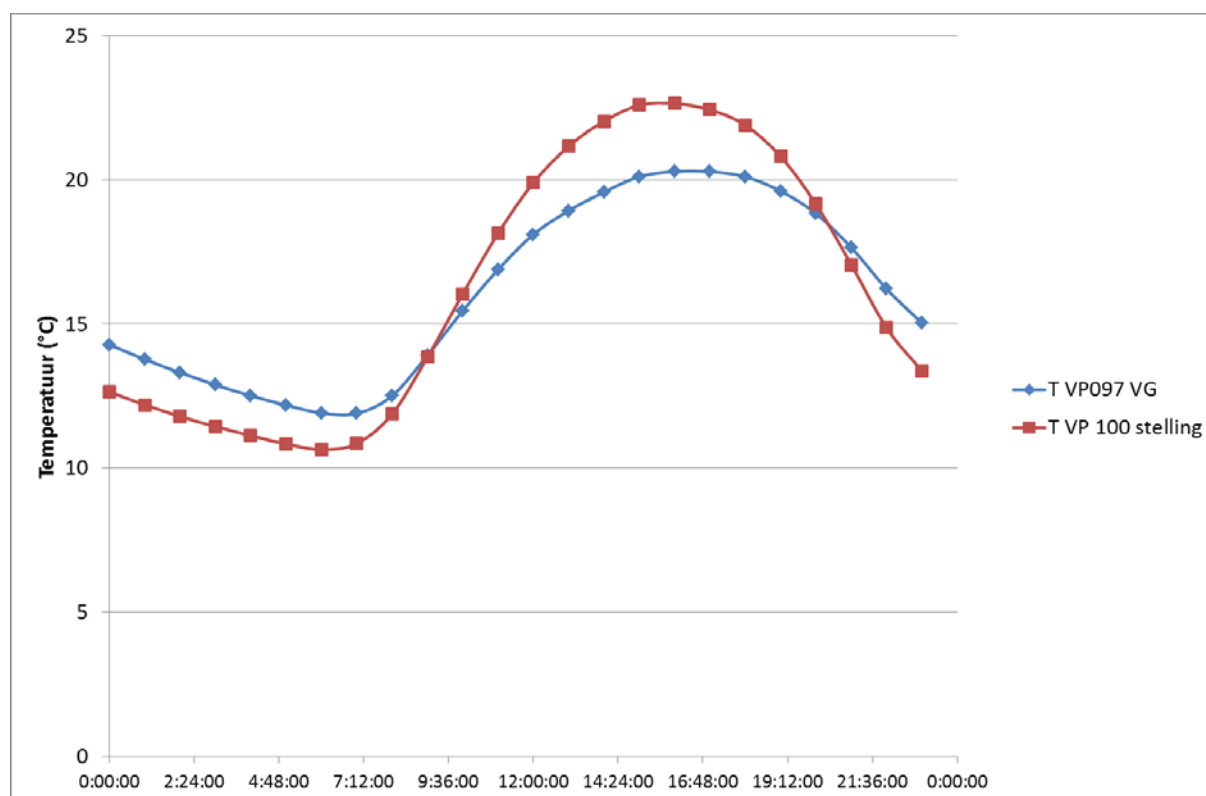
Figuur 17. Mate van sporulatie van echte meeldauw, per uur over de dag in 2013.

4 Klimaatgegevens stellingen en vollegrond

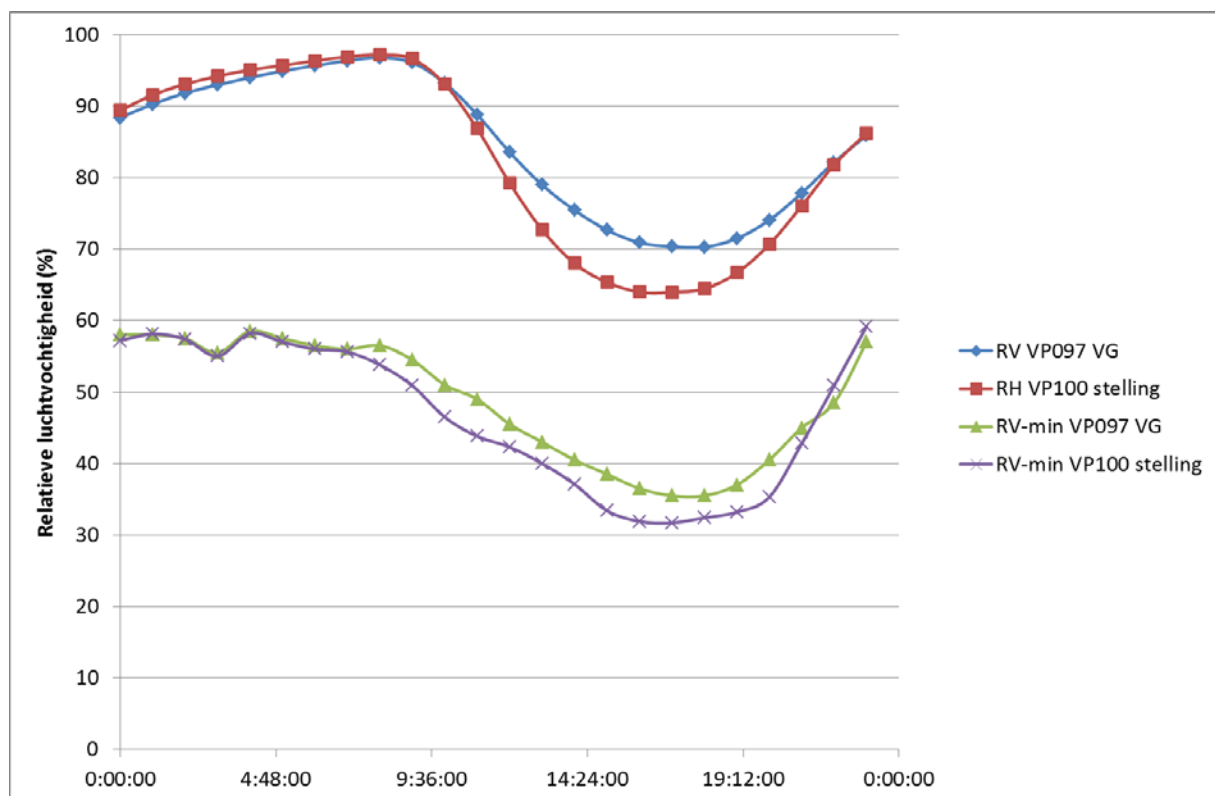
4.1 Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Met de Agrovision weerpaal zijn metingen gedaan aan de temperatuur en de luchtvochtigheid in het gewas in de verlate teelt en op stellingen. De temperatuur en luchtvochtigheid sensoren stonden daarbij in het gewas. Om inzicht te krijgen is de gemiddelde temperatuur berekend over een langere periode op hetzelfde tijdstip van de dag. Het zelfde is gedaan voor de gemiddelde en minimum luchtvochtigheid. De gemiddelde maximum luchtvochtigheid benaderde de 100%.

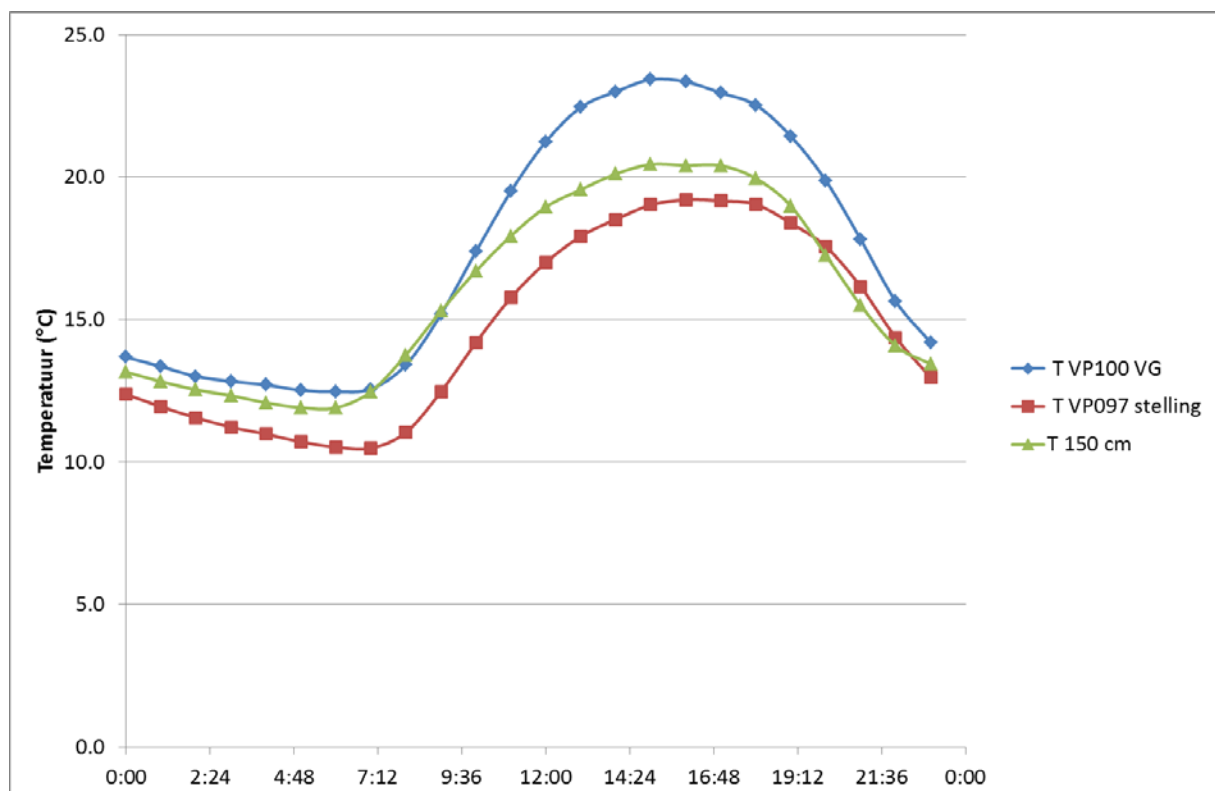
Over het algemeen stijgt de temperatuur in het gewas gedurende de dag op stellingen tot een hogere waarde dan in de vollegrond en zakt deze in de nacht verder door (Figuur 18, Figuur 22), echter niet in 2012 (Figuur 20). De gemiddelde en minimum relatieve luchtvochtigheid op stellingen was ook lager (Figuur 19, Figuur 21, Figuur 23). Dit betekent dat verwacht mag worden dat de bladnatperiode op stellingen korter zal zijn dan in de vollegrond.



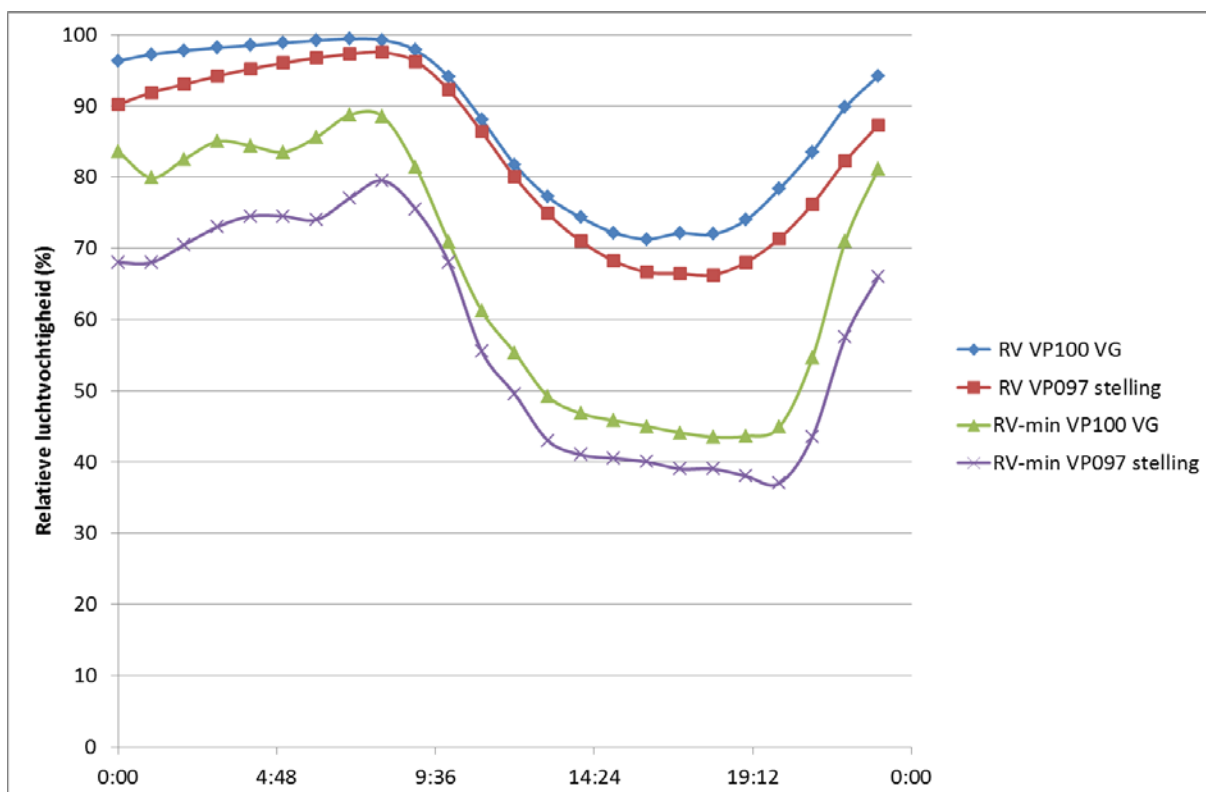
Figuur 18. Gemiddelde temperatuur op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrond bij de teelt van aardbeien in Vredepeel in de periode 1 april – 30 september 2011.



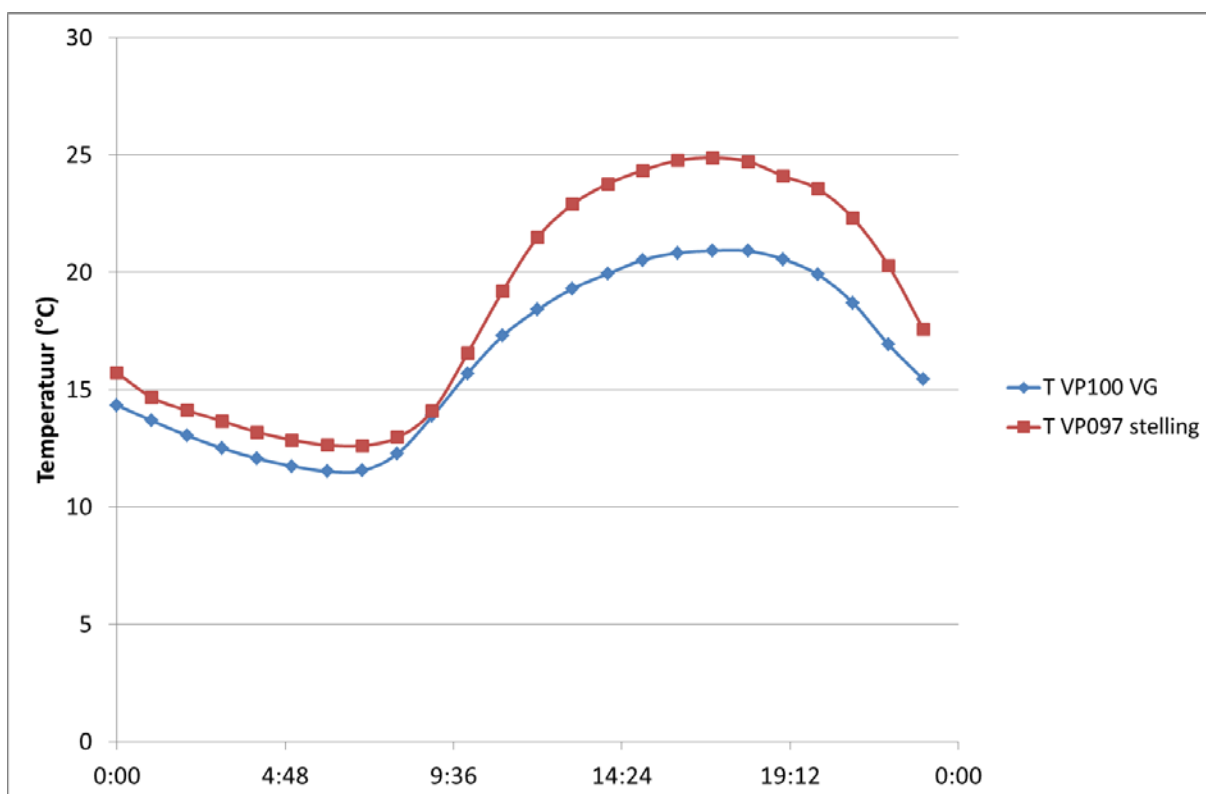
Figuur 19. Gemiddelde (RV) en minimum relatieve luchtvochtigheid (RV-min) op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrondsteelt van aardbeien in Vredepeel in de periode 1 april – 30 september 2011.



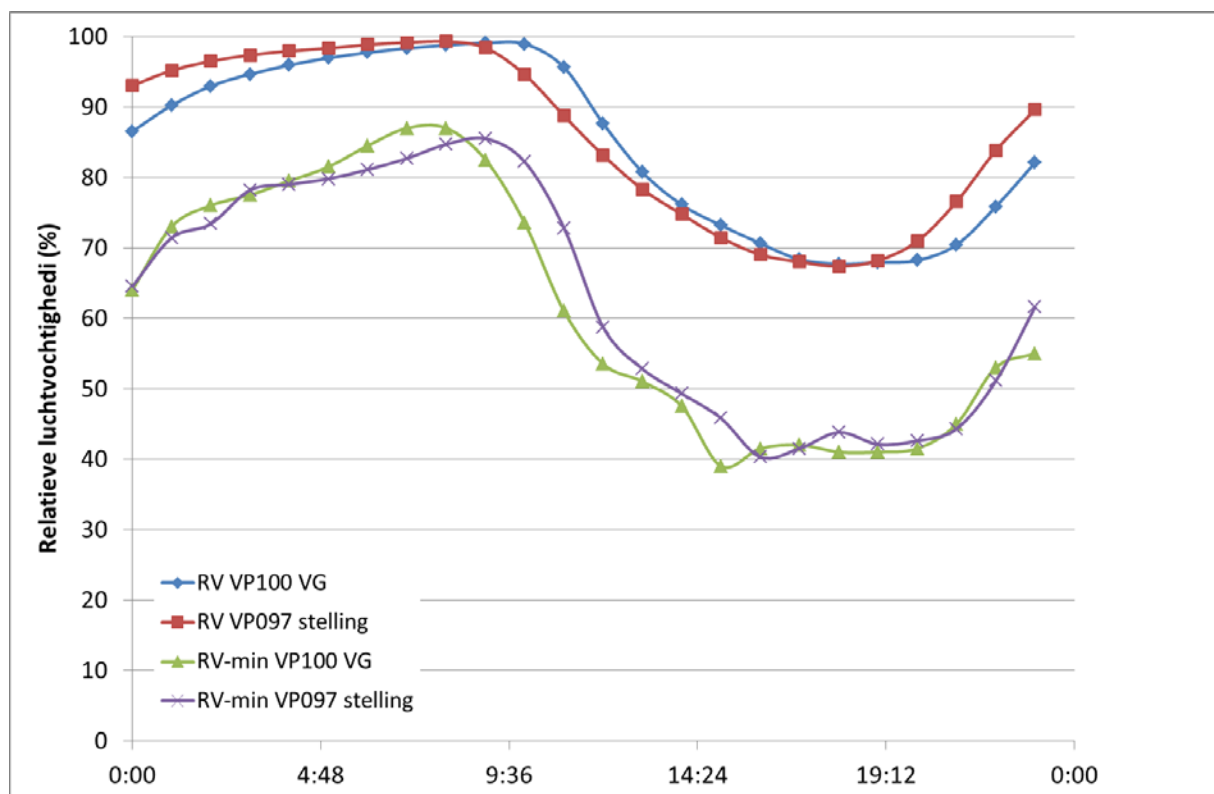
Figuur 20. Gemiddelde temperatuur op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrond bij de teelt van aardbeien in Vredepeel in de periode 1 juli – 30 september 2012.



Figuur 21. Gemiddelde (RV) en minimum relatieve luchtvochtigheid (RV-min) op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrondsteelt van aardbeien in Vredepeel in de periode 1 juli – 30 september 2012.



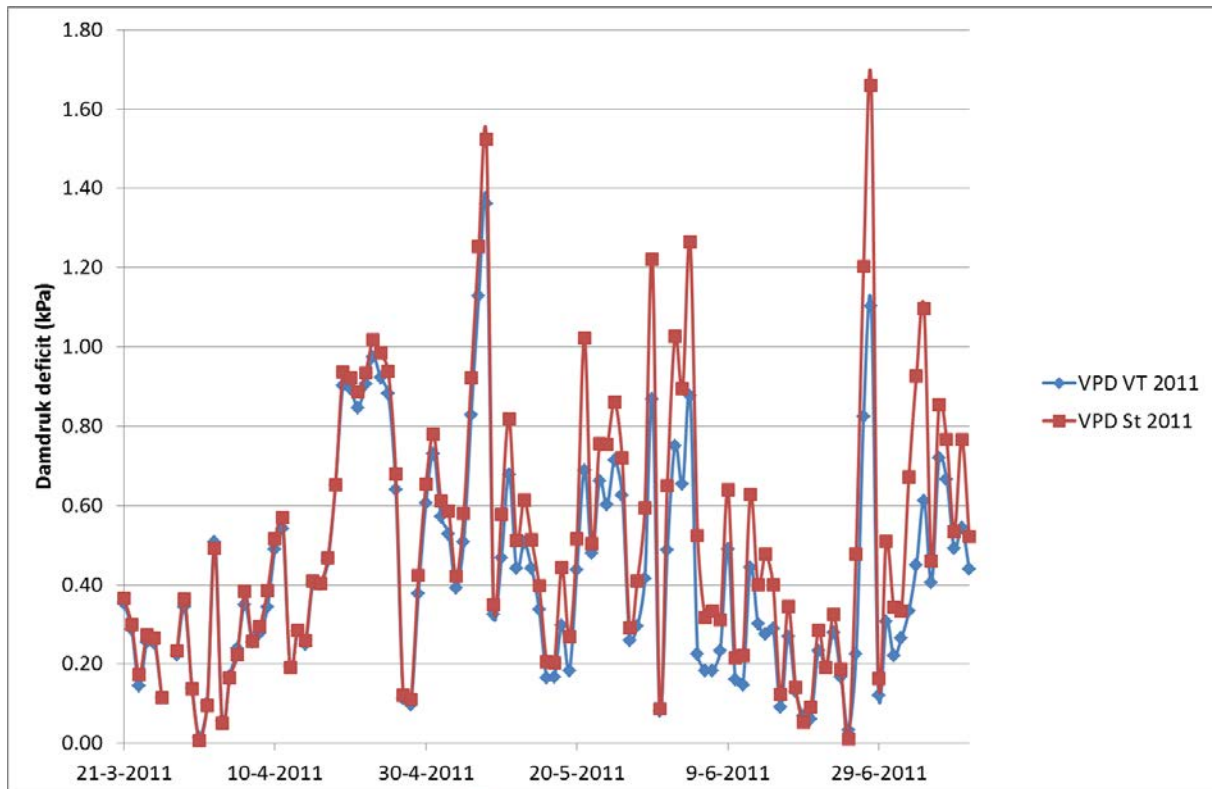
Figuur 22 Gemiddelde temperatuur op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrond bij de teelt van aardbeien in Vredepeel, in de periode 26 juni – 10 september 2013.



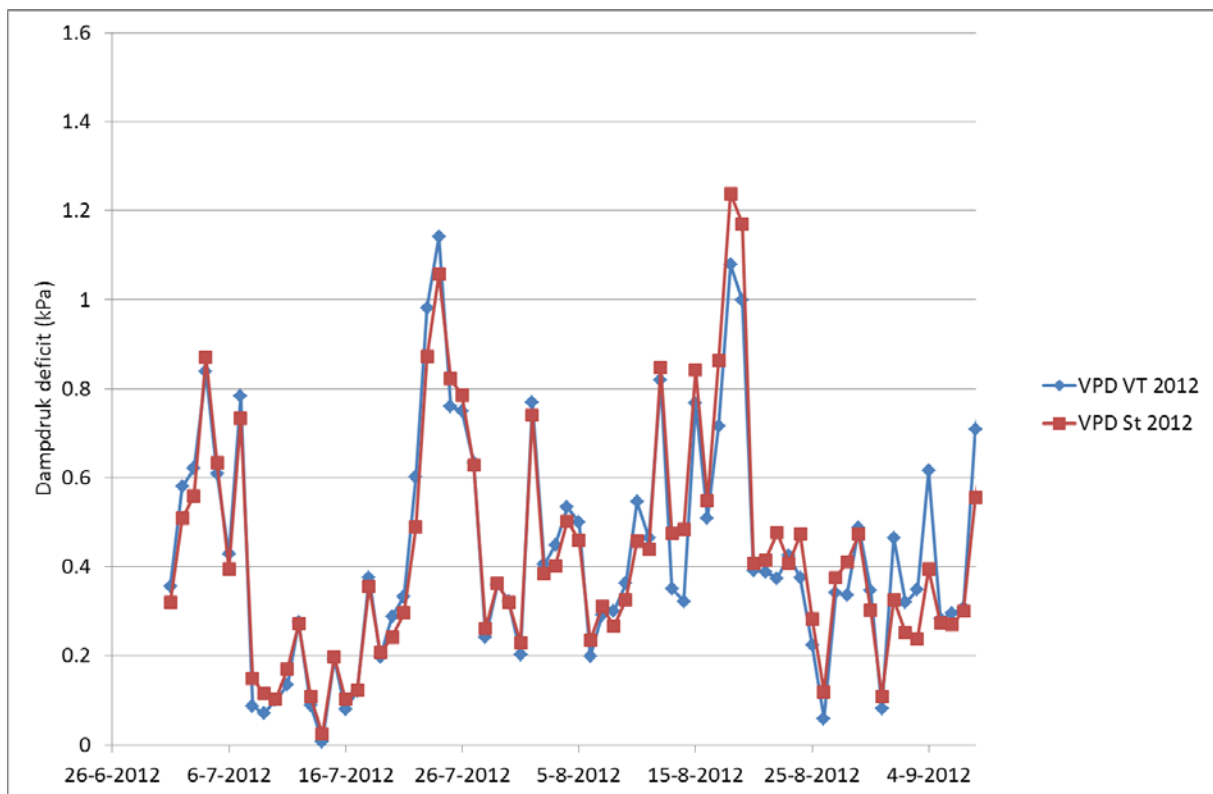
Figuur 23. Gemiddelde (RV) en minimum relatieve luchtvochtigheid (RV-min) op uurbasis bij stellingteelt in vergelijking met de vollegrond bij de teelt van aardbeien in Vredepeel in de periode 26 juni – 10 september 2013.

4.2 Vochtdeficit

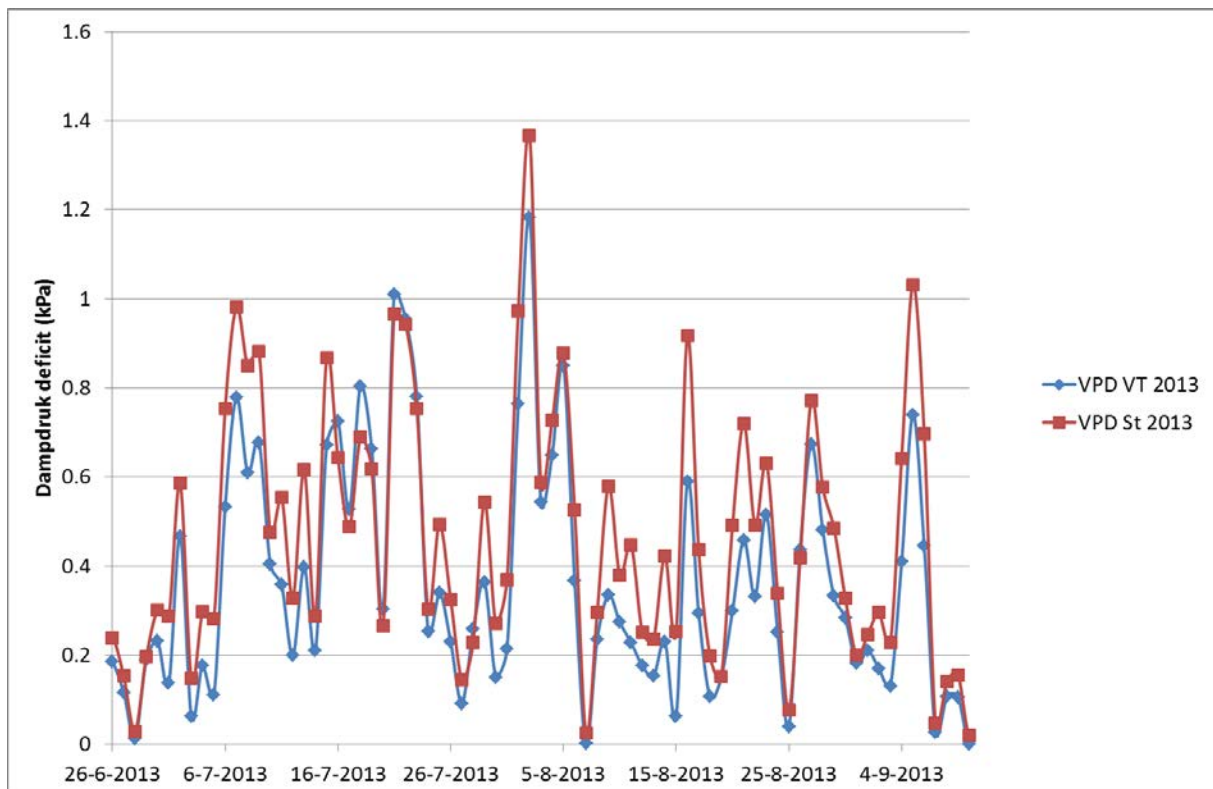
Bij grote schommelingen in temperatuur en RV mag een hogere vochtdeficit verwacht worden. Indien net als bij roos de gevoeligheid voor meeldauw toeneemt bij hogere mate van vochtdeficit dan is de verwachting dat op stellingen eerder dan in de vollegrond een kans is op aantasting door meeldauw. Op basis van meetwaarden tussen de aardbeiplanten van temperatuur en luchtvochtigheid is dampdruk deficit op stelling gemiddeld iets groter dan in de vollegrond (Figuur 24, Figuur 25, Figuur 26). Bij de berekening werd uitgegaan worden van luchttemperatuur tussen het gewas. Continu meten van blad temperatuur is lastig als het gaat om de keuze van het blad dat gemeten wordt.



Figuur 24. Vochtdeficit berekend voor aardbei op stellingen en in de vollegrond in 2011. Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn gemeten tussen de aardbeiplanten.



Figuur 25. Vochtdeficit berekend voor aardbei op stellingen en in de vollegrond in 2012. Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn gemeten tussen de aardbeiplanten.



Figuur 26. Vochtdeficit berekend voor aardbei op stellingen en in de vollegrond in 2013. Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid zijn gemeten tussen de aardbeiplanten.

Uit onderzoek van Miller et al., (2003) blijkt dat bij aardbei in biotoetsen de koloniegroei niet wordt beïnvloedt door dampdrukdeficiet (VPD) en relatieve luchtvochtigheid. De auteurs claimen dat VPD alleen effect heeft op het kiemproces.

Uit de metingen komt naar voren dat de dampdruk deficit bij een substraatteelt op stellingen over het algemeen net iets hoger ligt dan in de vollegrond.

4.3 Klimaatparameters en meeldauw

In drie achtereenvolgende jaren werd meeldauw epidemie gevolgd in proeven in Vredepeel. Hierbij werd waargenomen in aardbeiteelten ten behoeve van EU-Berry en Teelt de Grond Uit. In 2012 was er op de locatie geen teelt op substraat beschikbaar. De meeldauwwaarnemingen werden gedaan in velden waar geen gewasbescherming werd uitgevoerd.

In alle drie de jaren was de gemiddelde minimum relatieve luchtvochtigheid in het gewas op stellingen lager dan bij teelt in de vollegrond (Tabel 1). Een duidelijke temperatuur relatie met de teeltwijze was er niet. In twee van de drie jaren was de dampdruk deficit op stellingen hoger dan in de vollegrond en in 2012 vergelijkbaar. Dit laatste werd veroorzaakt door de hogere gemeten gemiddelde temperatuur in de vollegrond in vergelijking met op de stelling.

Op basis van het voor roos ontwikkelde meeldauw model door PPO boomteelt werd een gemiddelde dag risico berekend. Deze was in alle gevallen voor de vollegrond lager dan voor stellingen. Opgemerkt moet worden dat het model gelijk gesteld wordt aan 0 als het blad nat is. Echter de vaststelling of een blad al dan niet nat is bij een bepaalde relatieve luchtvochtigheid is zeer moeilijk.

Een duidelijke relatie tussen de klimaat parameters en de meeldauwaantasting werd niet gevonden.

Tabel 1. Gemiddelde temperatuur, relatieve luchtigheid, minimum luchtvochtigheid, dampdruk deficit en meeldauwaantasting

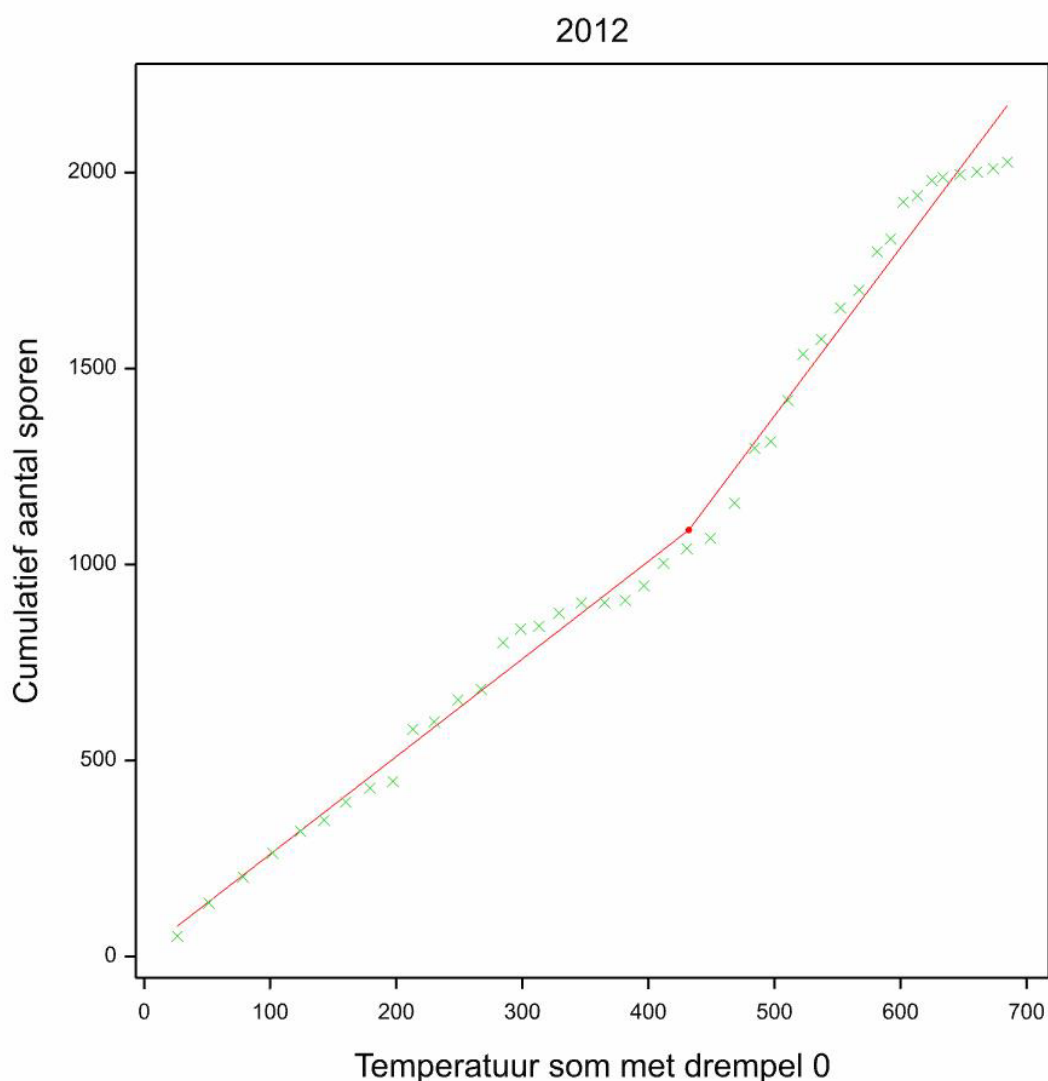
Jaar	Teeltwijze	Plantdatum	Temp (°C)	RV (%)	RV-min (%)	VPD (kPa)	Dag risico meeldauw	Meeldauw aantasting (%)
2011	Vollegrond	21-3	14.9	80.4	60.1	0.42	0.061	4.0
	Stelling	21-3	14.9	78.9	53.9	0.51	0.071	55.7
	NFT	21-3	*	*	*	*	*	20.0
2012	Vollegrond	26-6	18.6	86.0	64.3	0.43	0.071	48.9
	NFT	26-6	16.0	81.7	59.7	0.43	0.073	20.2
2013	Vollegrond	26-6	16.0	85.5	65.1	0.34	0.060	35.2
	Stelling	26-6	18.3	86.6	63.9	0.44	0.067	33.7
	NFT	26-6	*	*	*	*		36.4

*: de sensor stond tussen de aardbei op substraat teelt, naast de goten waarop aardbeien werden geteeld volgens het NFT systeem.

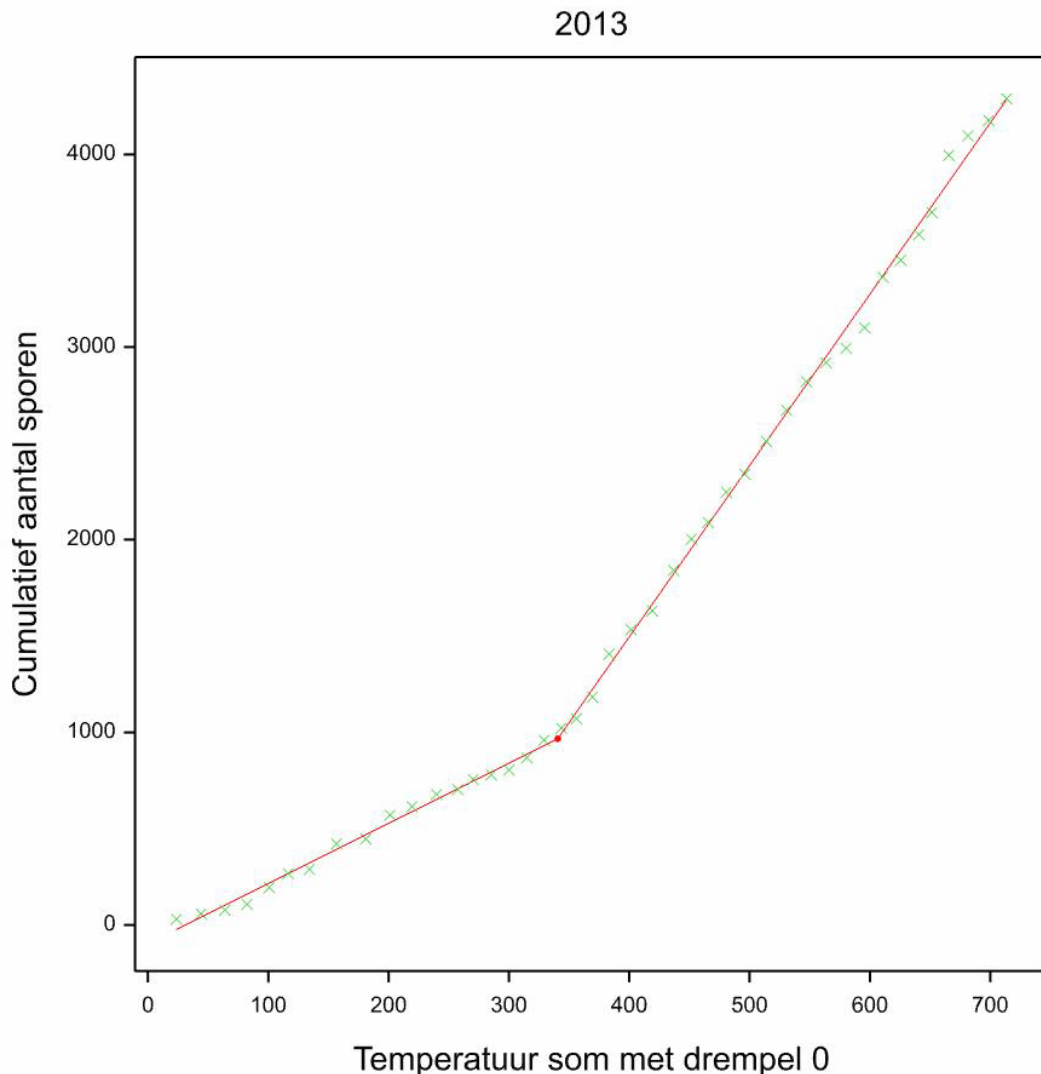
4.4 Sporulatie in relatie tot weer parameters

Het cumulatief aantal getelde sporen vertoonde een correlatie met de temperatuursom. Tussen 8 en 9 september 2012 nam het aantal sporen sterker toe per eenheid toename van de temperatuursom (Figuur 27). In 2013 werd dit fenomeen in nog sterkere mate ook waargenomen vanaf 11 en 12 augustus (Figuur 28). In 2013 kwam de trendbreuk overeen met de start van de exponentiële fase van de echte meeldauw epidemie in het gewas. In die week er voor steeg de mate van aantasting van 5% naar 15%. In 2012 kwam de trendbreuk pas voor in de laatste fase van de epidemie, terwijl de start van de exponentiële fase als begin augustus 2012 was. Blanco et al. (2004) constateerden dat er een relatie was tussen de mate van sporulatie van echte meeldauw en de mate van aantasting in het gewas. Dit is in overeenstemming met de trendbreuk waargenomen in 2013, maar daarmee wordt de trendbreuk in 2012 niet verklaard.

Dat het totaal aantal sporen toeneemt in de tijd of met de temperatuursom is uiteraard logisch. Afwijkingen ten opzichte van die toename zijn interessant. Worden er meer sporen dan verwacht gevonden dan zijn de omstandigheden blijkbaar gunstig voor sporulatie, worden er minder gevonden dan zijn ze juist ongunstig.



Figuur 27. Relatie tussen cumulatieve sporulatie en temperatuursom in 2012 ($R^2=99.1$)



Figuur 28. Relatie tussen cumulatieve sporulatie en temperatuursom in 2013 ($R^2=99.9$)

De procedure RQUADRATURE in Genstat 16ed kon het aantal echte meeldauwsporen in 2012 voorspellen met windsnelheid, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. De hoogste percentage verklaarde variantie was 17.0 procent, wat onvoldoende is voor een betrouwbare voorspelling van de mate van sporulatie. In 2013 bleek de verklaarde variantie nog lager.

Vrijwel op elke dag dat er gemeten werd konden sporen in de lucht waargenomen worden. Dit geeft aan dat sporulatie waarschijnlijk niet de beperkende factor is voor de ontwikkeling van de echte meeldauw epidemie.

In 2-12 werden er sporulatiepieken vastgesteld op 26-8, 30-8, 11-9, (13-9), 14-9 en 20-9. In 2013 werden sporulatie pieken vastgesteld op 1-8, 15-8, 18-8, 19-8, 21-8, 23-8, 29-8 en 2-9.

4.5 Eerste sporulatie en infectiekans in het seizoen

Bij druif en *Erysiphe necator* de veroorzaker van echte meeldauw is door Carisse, et al, 2009 een systeem ontwikkeld om de cumulatieve sporulatie te voorspellen. Het model gaat er vanuit dat sporulatie gestuurd wordt door temperatuur, met een grenswaarde van 6°C. In dit systeem wordt geteld vanaf het moment dat er 2 blaadjes gevormd zijn. Uit onderzoek blijkt dat de eerste sporulatie gevonden werd bij 500 à 600 graaddagen. Bij 1600 graaddagen was de maximum sporulatie bereikt.

Het is niet duidelijk of het graaddagen model van Carisse et al. (2009) ook gebruikt zou kunnen worden om het eerste moment van sporulatie vast te kunnen stellen bij de teelt van aardbei. In de verlate teelt zou gerekend kunnen worden vanaf het moment dat er na het planten niet meer berekend wordt om het plantmateriaal te laten aan slaan. Bij teelt op stelling of in de kas kan meteen vanaf planten gerekend worden. Uiteraard zal uitgezocht moeten worden of een grenswaarde van 6°C ook geldt voor *Sphaerotheca fuliginea*. Echter indien blijkt dat deze werkwijze ook opgaat voor echte meeldauw in aardbei, dan zou het moment van de eerste bespuiting objectief vastgesteld kunnen worden.

Bij de waarnemingen in Etten-Leur (2011) en Vredepeel (2012 & 2013) is er voor gekozen om naar sporulatie in de tweede seizoenshelft te kijken, omdat over het algemeen de echte meeldauw epidemieën aan het eind van het seizoen zwaarder zijn. Een gevolg van sporulatie is bij voor de schimmel gunstige omstandigheden aantasting.

In 2011 lag er een vroege teelt op Vredepeel. De eerste aantasting in de vollegrond werd waargenomen bij een temperatuursom tussen 600 °C (0% aantasting) en 680 °C (5%), gerekend vanaf het moment van planten. Voor de stellingteelt in 2011 was dat tussen 440 °C (0%) en 600 °C (10%). Dit ligt enigszins in de lijn met de bevindingen van Carisse et al (2009), hoewel mogelijk de temperatuursom voor echte meeldauw in aardbei lager ligt.

Zowel in 2012 als in 2013 werd er een late teelt uitgevoerd met plantdatum 26 juni. In 2012 was de temperatuursom in de VG 401 °C bij een aantasting van 1.3% en voor de stelling 301 °C bij een aantastingsgraad van 0.1%. In 2013 was de temperatuursom bij een aantastingsniveau van 0.3% 185 °C en 241 °C voor respectievelijk de vollegrond en de stellingenteelt. In alle gevallen geldt dat sporulatie en infectie heeft plaats gevonden voor aantasting, tenzij meeldauw met het plantmateriaal is meegekomen. Bij beide late teelten wordt de temperatuursom van 600 lang niet gehaald. Dit is waarschijnlijk het gevolg van bronnen in de omgeving, waardoor de ziekte druk zich niet eerst in het perceel hoeft op te bouwen, maar de sporen van buitenaf kunnen komen aanwaaien.

5 Conclusies

Sporulatie echte meeldauw

- Cleistothecia vormen waarschijnlijk de belangrijkste primaire inoculum bron in het voorjaar, gebaseerd op internationale literatuur, hoewel ze vaak niet gevonden worden op uitgangsmateriaal.
- De mate van sporulatie in 2011 was lager dan in 2012 en 2013. Opgemerkt moet worden dat de sporenvanger in 2011 op afstand stond van het aardbeiveld, terwijl in 2012 en 2013 de sporenvanger in het aardbeiveld kon staan. In z'n algemeenheid neemt de sporendichtheid exponentieel af met de afstand tot de bron.
- De mate van sporulatie bleek moeilijk te correleren aan de gemeten klimaatparameters. Daardoor is het met de bekeken parameters niet mogelijk om een voorspelling te doen van de mate van sporulatie van echte meeldauw in aardbeien.
- De cumulatieve toename van sporen bleek wel gecorreleerd met de temperatuur som, echter in de loop van het seizoen ontstond er een trendbreuk, waarna het gemiddeld aantal sporen gevangen per eenheid temperatuur hoger lag.
- Gemiddeld genomen werd een sporulatiepiek waargenomen aan het begin van de middag, echter op elk uur van de dag kon sporulatie worden waargenomen. De pieken waren zwak geassocieerd met een dalende relatieve luchtvochtigheid.
- In 2012 leek er een correlatie tussen een zuid-westelijke windrichting en de mate van sporulatie, dit leek veroorzaakt te worden door een bron van echte meeldauw ten zuiden van de sporenvanger, in de vorm van een afgedragen aardbeiveld. In 2013 ontbrak een correlatie met windrichting, echter in dat jaar waren er geen duidelijk aanwijsbare bronnen in de omgeving.
- In zijn algemeenheid kon een hogere mate van sporulatie gevonden worden bij toename van de mate van aantasting door echte meeldauw in het veld. Zowel in 2012 als in 2013 werd een trendbreuk waargenomen in de mate van sporulatie van echte meeldauw in de loop van het seizoen.
- Vrijwel op elke dag dat er sporentellingen werden gedaan konden ook daadwerkelijk echte meeldauwsporen worden waargenomen, hoewel de aantallen sterk konden variëren. De aanwezigheid van echte meeldauwsporen lijkt niet de beperkende factor te zijn voor een echte meeldauw epidemie.
- Er is niet gekeken of de aanwezige sporen ook daadwerkelijk een infectie konden veroorzaken onder de gegeven omstandigheden in het veld. Echter de aanwezigheid van een grote ziektebron kan een echte meeldauw epidemie sterk bevorderen, omdat niet eerst opbouw van inoculum in het gewas hoeft plaats te vinden.

Meeldauw epidemie

- In 2011 werd significant minder meeldauw gevonden op het NFT systeem in vergelijking met substraatteelt in een Elsanta teelt. Echter in 2013 de mate van aantasting op NFT was vergelijkbaar met de teelt op substraat in een Elsanta teelt.
- In de teelt van druiven wordt een temperatuur model gebruikt om de eerste sporulatie in het seizoen te voorspellen en daarmee het eerste spuitmoment. Voor aardbei zou dit model getoetst kunnen worden op praktijkbedrijven. Bij een vroege teelt in 2011 werd de eerste aantasting zowel op stellingen als in de vollegrond waargenomen bij een temperatuursom (-6°C) van 500 à 600. In latere teelten was de temperatuursom veel lager wat suggereert dat er sporen uit de omgeving worden aangevoerd, of dat omstandigheden voor infectie later in het seizoen veel gunstiger zijn dan aan het begin.
- Het gemiddelde risico index berekend met het model voor meeldauw in roos lag voor stellingen hoger dan voor de vollegrond. Ook dampdruk deficit lag op stelling gemiddeld hoger. De fluctuaties in temperatuur ook. De relatieve luchtvochtigheid zakte op stellingen gemiddeld genomen overdag dieper weg. Echter een correlatie met de mate van waargenomen aantasting in de onbehandelde controle met voornoemde parameters werd niet gevonden.
- Aanpassing van de BOS en toetsing in het kader van EU Berry in 2013 leverde geen betere beheersing van echte meeldauw op dan toepassing van de bestaande BOS. In de tweede teelt van 2013 gaven gebruik van beide systemen minder meeldauw aantasting dan gespoten volgens de praktijk. In de eerste teelt van 2013 waren praktijk en BOS even efficiënt.

6 Samenvatting

Echte meeldauw in aardbei kan zowel het blad als de vrucht aantasten. In de praktijk wordt de schimmel bestreden door regelmatige inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Het is gewenst om die inzet te beperken tot het noodzakelijke. Dit is zowel economisch en milieutechnisch aantrekkelijk. In het algemeen kunnen waarschuwingssystemen helpen om het tijdstip van de inzet van gewasbeschermingsmiddelen te optimaliseren. Voor echte meeldauw zijn er een aantal beslissingsondersteunende systemen (BOS) op de markt (PlantPLus van Dacom Plant service en Aardbei bericht van Agrovision). In de teelt van aardbei wordt een advies gegeven voor vruchtrot en een advies voor meeldauw. Ervaring leert dat het advies voor meeldauw toch lastig is door wisselende weersomstandigheden en daar komt nog bij de aardbeien geteeld op stellingen, al of niet met regenkapje, te maken hebben met een ander microklimaat dan aardbeien geteeld in de vollegrond. Voor meeldauw geldt dan ook nog dat de biologie van deze schimmel minder goed bekend is dan die van *Botrytis cinerea* (vruchtrot).

In opdracht van Productschap Tuinbouw is onderzoek uitgevoerd om de biologie van echte meeldauw beter te beschrijven en op die manier bouwstenen aan te leveren voor een verdere verbetering van het BOS meeldauw. Het onderzoek is uitgevoerd in samenhang met het project EU Berry (FP7) en Good Lasting Fruit (GoLF, agentschapNL), beide gericht op duurzame teelt met minimale inzet van gewasbeschermingsmiddelen.

Uit internationale literatuur blijkt dat de belangrijkste primaire bron vroeg in het seizoen ascosporen zijn die gevormd worden in cleistothecia. In de praktijk bleken deze lastig te vinden in plantgoed afkomstig uit de koelcel. Secundaire verspreiding vindt plaats via conidiën. Sporentellingen gaven aan dat op de meeste dagen daadwerkelijk sporen van echte meeldauw boven een aardbeigewas gevonden konden worden. Op 5 tot 6 dagen tijdens de teelt was sprake van sporulatiepieken. Het vrijkomen van sporen was enigszins gecorreleerd met verlaging van de luchtvochtigheid in de ochtend. Er was een goede relatie tussen het cumulatief vrij komen van de sporen en de temperatuursom. Zowel in 2012 als in 2013 was er een trendbreuk te zien, waarbij in de tweede helft van de teelt het aantal sporen per temperatuureenheid hoger was. Dit had waarschijnlijk te maken met de toename van de meeldauw epidemie in de onbehandelde aardbeien. Gezien de aantallen sporen en de vrijwel dagelijkse aanwezigheid, is de verwachting, dat sporulatie van meeldauw niet de beperkende factor zal zijn voor de ziekte.

Zowel op stellingen als in de vollegrond zijn klimaatparameters gemeten en is de meeldauw epidemie waargenomen. Bij de teelt op stellingen is dit gedaan in samenwerking met Teelt de Grond uit. Over het algemeen waren de temperatuurschommelingen op stellingen groter dan in de vollegrond, de relatieve luchtvochtigheid zakte verder door en het dampdruk deficit was groter op stellingen. In principe is het microklimaat op stellingen daarmee gunstiger voor meeldauw dan in de vollegrond. Echter dat kwam niet altijd in de meeldauw epidemie tot uiting. Toepassing van de risico-index voor meeldauw van roos gaf eveneens een indicatie dat het risico op stellingen hoger zou moeten zijn. Opmerkelijk was dat in 2011 aardbeien geteeld op NFT beduidend minder meeldauw hadden dan geteeld op substraat, echter in 2013 was de mate van aantasting tussen de beide systemen vergelijkbaar.

Voor druif is een temperatuursom model in gebruik voor het bepalen van de eerste sporulatie in het seizoen (600 graaduren; drempel 6°C). Wellicht is dit ook bruikbaar bij aardbeien, maar dan alleen aan het begin van het seizoen. Later in het jaar zijn de omstandigheden voor meeldauw mogelijk beter en zijn er meer ziekte bronnen, waardoor de drempelwaarde veel lager wordt en dit model niet meer op gaat.

In aansluiting op EU Berry is een aangepaste BOS getoetst. Een eerste test leidde echter niet tot een verbetering zien ten opzichte van de bestaande BOS van Agrovision voor meeldauw. Gebruik van het BOS was in de proeven gelijkwaardig aan de praktijk of beter als het gaat om meeldauwaantasting. Het onderzoek had niet als doel om een aangepast model op te leveren, maar wel om bouwstenen aan te leveren om bestaande modellen te kunnen verbeteren. De resultaten uit dit onderzoek zijn bruikbaar voor het aanpassen van de waarschuwingssystemen voor echte meeldauw in aardbei.

7 Literatuur

- Amsalem, L., Freeman, S., Rav-David, D., Nitzani, Y., Sztejnberg, A., Pertot, I. and Elad, Y. (2006). Effect of climatic factors on powdery mildew caused by *Sphaerotheca macularis* f.sp. *fragariae* on strawberry. European Journal of Plant Pathology 114: 283-292.
- Arsic, M.M.(1965). Study of the biology and control of the strawberry parasite *S. macularis* (Wallr.) Jaczewski. Zastita Bilja 16; 115-170 (Abstract).
- Berrie, A.M. (2000) Botrytis, Powdery Mildew and Blackspot of Strawberry. Proceedings of National Soft Fruit Conference 2000, March 28th, <http://www.teagasc.ie/publications/fruit2000/paper7.htm>
- Berrie, A.M., Harris, D.C., Xu, X.M. and Burgess C.M. (1998) Progress towards integrated control of Botrytis and powdery mildew of strawberry in the UK. IOBC/WPRS Bulletin 21(10): 95-102.
- Bélanger, R.R, W.R. Bushnell, A.J. Dik, en T.L.W. Carver geredigeerde en in 2002 verschenen boek 'The powdery mildew
- Blanco, C., De los Santos, B. Barrau, C., Arroyo, F.T., Porras, M. & Romero, F. (2004). Relationship among concentrations of *Sphaerotheca macularis* conidia in the air, environmental conditions, and the incidence of powdery mildew in strawberry Plant Disease 88: 878-881.
- Braun, U., Cook, R.T.A., Inman, A.J. and Shin, H.-D. (2002) The taxonomy of the powdery mildew fungi. In: The powdery mildews, a comprehensive treatise (Eds. Bélanger, R.R., Bushnell, W.R., Dik, A.J. and Carver, T.L.W.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, pp.13-55.
- Bushnell, W.R. (2002) The role of powdery mildew research in understanding host-parasite interaction: past, present, and future. In: The powdery mildews, a comprehensive treatise (Eds. Bélanger, R.R., Bushnell, W.R., Dik, A.J. and Carver, T.L.W.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, pp.1-12.
- Carisse, O, Bacon, R, Lefebvre, A and Lessard, K., 2009. A degree-day model to initiate fungicide spray programmes for the management of grape powdery mildew (*Erysiphe necator*). Canadian Journal of Plant Pathology 31: 186-194.
- Claessens, L. (2004). Meeldauw in aardbei ontzenuwd. Groenten & Fruit week 25: 42-43.
- Cline, H. (2002). Strawberry powdery mildew model readied. Western Farm Press 6 July 2002. http://westernfarmpress.com/mag/farming_strawberry_powdery_mildew/
- Dodgson, J. Hall, A. and Parker, S. (2007). System to predict high risk periods for *Podosphaera aphanis* infection of strawberries grown in polythene tunnels. Aspect of Applied Biology 83: 59-63.
- Gadoury, D. M., Asalf, B., Heidenreich, M. C., Herrero, M. L., Welser, M. J., Seem, R. C., Tronsmo, A. M., and Stensvand, A. 2010. Initiation, development, and survival of cleistothecia of *Podosphaera aphanis* and their role in the epidemiology of strawberry powdery mildew. Phytopathology 100:246-251.
- Hoffman, L.E. and Gubler, W.D. (2002). Validation of the UC Davis Strawberry Powdery Mildew Risk Index. 02-19.
- Jarvis, W.R., Gubler, W.D. and Grove, G.G. (2002) Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. In: The powdery mildews, a comprehensive treatise (Eds. Bélanger, R.R., Bushnell, W.R., Dik, A.J. and Carver, T.L.W.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, pp.169-199.
- Jhooty, J.S. and McKeen, W.E. (1965). Studies on powdery mildew of strawberry caused by *Sphaerotheca macularis*. Phytopathology 55: 281-285.
- Jordan, W.L., Hunter, T. (1972). The effects of glass cloche and coloured polythene tunnels on microclimate, growth, yield and disease severity of strawberry plants. J. Hort. Sci. 47: 419-426.
- Kunoh, H. (2002) Localized induction of accessibility and inaccessibility by powdery mildew. In: The powdery mildews, a comprehensive treatise (Eds. Bélanger, R.R., Bushnell, W.R., Dik, A.J. and Carver, T.L.W.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, pp. 126-133.
- Maas, J.L., 1998. Compendium of strawberry diseases. Second edition. APS Press. St Paul, Minnesota, USA: 98 p.
- Miller, T.C., Gubler, W.D., Geng, S. and Rizzo, D.M. (2003). Effects of temperature and water vapor pressure on conidial germination and lesion expansion of *Sphaerotehca macularis* f.sp. *fragariae*.

- Plant Disease 87: 484-492.
- Peres, N.A. and Mertely, J.C. (2005). Powdery mildew of strawberries. University of Florida PP-208: 4 p.
- Peres, O.S. (1962a). Studies on strawberry mildew, caused by *Sphaerotheca macularis* (Wallr. ex Fries) Jaczewski. I. Biology of the fungus. Annals of Applied Biology 50: 211-224.
- Peres, O.S. (1962a). Studies on strawberry mildew, caused by *Sphaerotheca macularis* (Wallr. ex Fries) Jaczewski. II. Host-parasite relationship on foliage of strawberry varieties. Annals of Applied Biology 50: 225-233.
- Raatjes, P., Hadders, J., Martin, D. and Hinds H. (2003). Plant-Plus: Turn-key solutions for disease forecasting and irrigation management. 3rd International Potato Modelling Conference Physiology Section of EAPR, Dundee 3-5 March.
- Ruimte voor Groente
http://www.gewasbescherming.nl/main_sector_vollegroondsgroenteteelt_meeldauw.html
- Spencer, D.M. (1978) The Powdery Mildews, Academic Press Inc. Ltd. London, 1978: 565 p.
- Xiao C.L., Chandler C.K., Price J.F., Duval J.R., Mertely J.C., Legard D.E. (2001). Comparison of epidemics of Botrytis fruit rot and powdery mildew of strawberry in large plastic tunnel and field production systems. Plant Disease 85: 901-909.
- Xu, M.U. (1996). The effects of constant and fluctuating temperatures on the length of the incubation period of apple powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*). Plant pathology 45: 924-932.
- Xu, M.U. (1999). Effects of temperature on the latent period of the rose powdery mildew pathogen, *Sphaerotheca pannosa*. Plant Pathology 48: 662-667.
- Xu, M.U. and Robinson, J.D. (2000). Effects of temperature on the incubation and latent periods of hawthorn powdery mildew (*Podosphaera clandestina*). Plant Pathology 49: 791-797.